

TESIS DOCTORAL

**Tecnologías móviles y *wearables* para la
autorregulación emocional de personas con
Trastornos del Espectro Autista**

Por:

Juan Carlos Torrado Vidal

Director: Germán Montoro Manrique

PROGRAMA DE DOCTORADO

Departamento de Ingeniería Informática

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Marzo 2018

Departamento Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

Título Tecnologías móviles y *wearables* para la autorregulación emocional
de personas con Trastornos del Espectro Autista

Autor Juan Carlos Torrado Vidal
Máster en Ingeniería Informática
(Universidad Autónoma de Madrid)

Director Germán Montoro Manrique
Doctor en Ingeniería Informática
(Universidad Autónoma de Madrid)

Año 2018

Tribunal Presidente: Juan Carlos Augusto

Secretario: Xavier Alamán Roldán

Vocal: María José Rodríguez Fórtiz

Resumen

Tecnologías móviles y *wearables* para la autorregulación emocional de personas con Trastornos del Espectro Autista

por Juan Carlos Torrado Vidal

Las personas con Trastornos del Espectro Autista (TEA) presentan ciertas dificultades en la capacidad de comunicarse, socializar, expresar e identificar emociones que les suponen un reto a la hora de adquirir autonomía a lo largo de su vida. Por eso, en los centros de educación especial se entrenan habilidades que les permiten mitigar las causas de esas dificultades. Entre ellas, una de las más importantes es la capacidad de autorregularse emocionalmente, cuyo déficit puede acarrear problemas de conducta, depresión y ansiedad a largo plazo. En los centros de educación especial se siguen diversas estrategias de intervención con el objetivo de que aprendan métodos para regular estas emociones durante episodios de estrés, ira o nerviosismo. Estas estrategias, aunque se elaboran de manera individualizada y adaptada a las necesidades de cada persona con TEA, tienen una naturaleza común de secuenciación de instrucciones visuales que utilizan pictogramas, imágenes o texto. Estas estrategias suelen ser elaboradas por los educadores o familiares, y es una tarea que requiere tiempo, personal y materiales. Además, esta asistencia debe proporcionarse en el momento en el que el individuo con TEA sufre un episodio como los descritos, con el coste logístico añadido que acarrea.

Para satisfacer dicha necesidad, esta Tesis se centra en el uso de dispositivos *wearables* y móviles a modo de plataforma para crear, editar y aplicar dichas estrategias de intervención. En concreto, proponemos el sistema Taimun-Watch, que utiliza relojes inteligentes o *smartwatches* para los individuos con TEA y teléfonos móviles o *smartphones* para los educadores o familiares. Los *smartwatches* tienen, por una parte, la capacidad de detectar los episodios de estrés del usuario a partir de los sensores de pulso cardíaco y movimiento y, por otra parte, la de mostrar instrucciones visuales a modo de estrategia para la autorregulación emocional en la pantalla cuando se detecten dichos episodios. Estas instrucciones pueden estar formadas por imágenes, animaciones, texto y se pueden estructurar de tal manera que resulten equivalentes a los diversos tipos de estrategias de intervención de la literatura y de los centros de educación especial. El sistema Taimun-Watch en el *smartphone* consiste en una herramienta de autor para crear y personalizar estas estrategias, se sincroniza con el *smartwatch* para enviar dicho contenido y obtiene del mismo los registros de uso, que se pueden utilizar para analizar el efecto de dichas estrategias en el nivel de estrés del usuario. El diseño y desarrollo de la aplicación se ha llevado a cabo siguiendo una metodología centrada

en el experto, ya que la extracción de requisitos y la toma de decisiones de diseño se ha realizado con ayuda de una asesoría de especialistas en educación de personas con TEA.

Este sistema ha sido probado con usuarios reales a lo largo de tres experimentos: con usuarios con TEA en la zona baja del espectro, usuarios con TEA de alta funcionalidad y educadores. En total, se han realizado más de 180 horas de prueba con usuarios finales en dos centros de educación especial. Los resultados muestran que la aplicación es capaz de ayudar a los usuarios con TEA a gestionar sus episodios de estrés de intensidad baja y media con las estrategias debidamente personalizadas. Este efecto se observó con mayor claridad en los usuarios con TEA en la zona baja del espectro del autismo. Esto evidencia que Taimun-Watch es una solución satisfactoria, viable y ubicua para la asistencia de personas con TEA en su proceso de autorregulación emocional.

Abstract

Wearable and mobile technologies for the self-regulation of individuals with ASD

by Juan Carlos Torrado Vidal

Individuals with Autism Spectrum Disorders (ASD) usually show severe difficulties at communicating, socializing and expressing or identifying emotions. These difficulties are challenging when it comes to acquire autonomy throughout their lives. Due to this problem, the training of skills that help mitigate these difficulties is extensive in centers of special education. Among them, one of the most important challenges that individuals with ASD must face during their lives is the deficit of emotional self-regulation, which often entails long-term behavioral problems, depression and anxiety. In these centers, educators employ several intervention strategies to help them regulate stress, anger or nervousness episodes. These strategies are created individually, tackling each person's particular issues, but there is a factor which is common to all of them: they are structured in the form of sequences of instructions that employ pictograms, images and text. They are usually created by their teachers or relatives, and it requires time, personnel and materials. Additionally, this assistance has to be applied just as the individual is having one of the aforementioned episodes, which adds complexity to the logistical side of the process.

In order to satisfy these needs, this PhD. Thesis focuses on the use of wearable and mobile devices as a platform to create, manage and apply those intervention strategies. Specifically, we propose a system called Taimun-Watch, which involves smartwatches for ASD individuals and smartphones for their teachers and relatives. Smartwatches are able to detect stress episodes by monitoring their heart rate and movement signals through their sensors, and they are also able to show visual instructions on their screens that act as self-regulation strategies. These instructions can be composed of images, animations or text, and can be structured in many ways so that they are equivalent to the traditional strategies found on the literature and used in the special education centers. In the smartphone side, Taimun-Watch is an authoring tool to create and customize these strategies, and it is synchronized with the smartwatch in order to send that content and receive the user logs and the sensor data from the wearable device. These data can be useful to improve the strategies customization in further executions and to analyze their effect in the user's affective state. The design and development of Taimun-Watch has been carried out under an expert-centered model, since the specification analysis and decision making have been advised by a group of

specialists in the field of ASD education.

Taimun-Watch has been tested with final users along three experiments: the first involving low-functioning ASD individuals, the second involving high-functioning individuals and the third with ASD-specialized teachers. These are more than 180 hours of testing altogether, in two centers of special education. Results show that the system is able to help ASD individuals manage their low and medium intensity stress episodes, with the properly customized strategies. This effect was clearly visible with low-functioning ASD users. This evidences that Taimun-Watch is a satisfactory, feasible and ubiquitous technological solution for the assistance of individuals with ASD in their emotional self-regulation.

Agradecimientos

Escribir una Tesis doctoral es más que una habitación, un teclado, unos dedos cansados y café instantáneo. Si sólo fuera eso, no habría nadie a quien dar las gracias más que a uno mismo, y esta parte de la Tesis, tan bonita y que todos tienen tantas ganas de leer, no existiría.

Germán, eres el primero. No podía ser de otra manera. Me siento culpable de todas las veces que tú me has dicho que estás orgulloso de mí y las pocas que te he dicho yo que estoy orgulloso de ti, aunque se lo dijera a todo el que me preguntaba: “¿y qué tal tu director de tesis?”. Porque de todas las cosas buenas y clichés que he podido leer en agradecimientos de otras tesis, jamás he leído que el doctorando estuviera orgulloso de su director. Yo estoy orgulloso de que lo seas. De que me hayas apoyado siempre, en lo académico y lo personal. Con ese afecto discreto y certero que nos das a Javi y a mí, y que llega, convenientemente, cuando las inseguridades y las dudas acechan. Estoy orgulloso de tener un director de tesis que me ha enseñado a ser pragmático, riguroso y paciente, y que lo ha hecho con el método didáctico más sencillo que existe, que es el de darme su ejemplo. De mayor quiero ser como tú.

Javi, tampoco te hace justicia un párrafo en esta sección por los innumerables consejos que me has dado, y que me han hecho falta incluso cuando no lo sabía. Tengo mucho que aprender de ti, y me alegro de que tu ilusión, tu capacidad para soñar, proponer e innovar te estén dando tantos frutos. ¡Carlos Vega! Sí, vas con apellido aquí también, no te ibas a librar. No sabes cuántas veces he recordado ese paseo hacia el tren en el que soñamos despiertos imaginando trabajar en la Universidad y dar clase. Bueno, ¡aquí estamos, agradeciéndonos en nuestras respectivas Tesis! Ha sido un gustazo vernos cambiar el uno al otro a lo largo de clases, prácticas, ratos en el *office*, quedadas y viajes. Aquí entráis vosotros también, Adal (*¡Wi-Fi!*) y Sofía (con su acento madrileño perfecto).

Muchas gracias a Lupe y Loles, del centro Alenta, porque cuando se habla de multidisciplinariedad uno se imagina un trabajo tedioso de estudio y reuniones largas y aburridas, pero con ellas ha sido todo fácil, interesante, inspirador y fructífero. Casi siempre que puedo hablar con propiedad de lo que hago es gracias a vosotras, a las visitas a vuestro centro y a los chicos, a quienes tanto bien hacéis con vuestro trabajo.

Espero que sigamos colaborando juntos mucho tiempo. También a la Fundación Orange por haber confiado en nuestro proyecto y haberlo seguido con interés personal y sensibilidad.

El doctorado es algo que, generalmente, uno hace mientras está creciendo y madurando, y aunque todo al final tiene un empaque sólido y un sentido, al echar la vista atrás uno ve lo muchísimo que ha cambiado y con qué gente a su alrededor. Por una parte, me alegro de tener dificultades por saber a cuántos puedo poner aquí, porque sois muchos y muy buenos. Pero Félix, Pau y Estrella (CSP), vais primeros. Hay algo que nunca hemos hablado y que pongo aquí por primera vez y es que sabemos que siempre vamos a estar juntos. Nos conocemos, nos queremos y siempre vamos a preocuparnos por vernos felices los unos a los otros. No me olvido de los de Manoteras, el primer grupo de amigos en el que sentí que podía ser yo mismo.

También quiero agradecer de corazón a mis compañeros y profesores de la Escuela de Escritores. Allí donde el trabajo científico pudo ser árido, ellos aportaron ese oasis de creatividad cada lunes, que iluminaba toda la semana y que le ha dado sentido a mi impulso por contar historias. Muchas gracias, Inés, Alejandro, Fátima y Antonio, y en especial a este último, del que no sólo he sido compañero de taller sino tutor, “jefe” y amigo. El Filandón seguro que es un evento literario de culto en el futuro, ¡y quiero que conste aquí que lo fomentamos nosotros!

Por último, y ellos saben que no menos importante, me gustaría agradecer a mi familia. Gracias a mis padres, Juan Carlos y Pastora, porque seguro que van a llorar sólo con ver su nombre aquí y eso ya dice mucho del amor incondicional y el apoyo sin reservas a cambio de lo poquito que a veces damos los hijos. Porque vinieron a Madrid con lo puesto pero dispuesto a dárnoslo todo. Porque me dan ejemplo de trabajo, fortaleza y sensatez. Y gracias a mi hermana María y mi cuñado Antonio por contribuir a un humor costumbrista que es necesario cuando la cotidianidad se vuelve neurótica, y porque no nos hará falta más que un McDonalds para celebrar la defensa de la Tesis.

A todos, muchísimas gracias, porque no sé si volveré a tener la oportunidad de agradecer con esta profusión a tanta gente en un documento que va a ser tan leído. Pero, de volver a tenerla, os volvería a agradecer.

Juan Carlos Torrado Vidal
Marzo 2018

Índice general

Resumen	v
Abstract	vii
Índice	xiv
Lista de Figuras	xvi
Lista de Tablas	xvii
Glosario de términos	xix
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes y contexto	2
1.2. Taimun-Watch: sistema <i>wearable</i> de autorregulación emocional	4
1.3. Caso de uso	5
1.4. Estructura de la Tesis	6
2. Trastornos del Espectro Autista	9
2.1. Disfunción ejecutiva	10
2.2. Alexitimia	11
2.3. Autodeterminación y autorregulación emocional	12
2.4. TEA y estrategias de intervención	14
2.4.1. Entrenamiento de pruebas discretas (DTT)	15
2.4.2. Intervención mediada con los padres	16
2.4.3. Intervención mediada por pares	16
2.4.4. Sistema de comunicación por intercambio de imágenes (PECS)	17
2.4.5. Entrenamiento de respuesta fundamental (PRT)	17
2.4.6. Historias sociales	17
2.4.7. <i>Video-modeling</i>	18
2.4.8. Estrategias de autodeterminación	18
2.4.9. Refuerzos de conducta positiva	18
2.5. Tecnología para la asistencia de personas con TEA	20
2.5.1. Aceptación y estigma social	20
2.5.2. El papel de los cuidadores y familiares	22

2.6. Conclusiones	23
3. TEA y tecnología	25
3.1. Interacción persona-ordenador	26
3.2. IPO y Tecnologías para la Asistencia	27
3.3. Computación afectiva	28
3.4. Expresión psicofisiológica de las emociones	31
3.4.1. Wearables y el Estado Interno del usuario	33
3.5. Smartwatches	34
3.6. Conclusiones	36
4. Estado del Arte	37
4.1. Tecnologías para la asistencia	38
4.1.1. Tecnologías <i>wearables</i>	40
4.1.1.1. <i>Smartwatches</i>	40
4.1.1.2. Otros <i>wearables</i>	42
4.1.2. Tecnologías móviles	45
4.1.2.1. Aplicaciones móviles para la asistencia	45
4.1.2.2. Herramientas de autor	46
4.2. Aplicaciones de Computación Afectiva	49
4.3. Estrategias de intervención para la autorregulación emocional	52
4.4. Conclusiones	53
5. Taimun-Watch	55
5.1. Metodología centrada en el experto	56
5.1.1. Roles	56
5.1.2. Modelo de proceso	60
5.2. Necesidades	61
5.2.1. Necesidades en cuanto a las estrategias	61
5.2.2. Necesidades en cuanto a la funcionalidad	62
5.2.3. Necesidades en cuanto a la tecnología	63
5.2.3.1. Interoperabilidad	65
5.3. Requisitos	66
5.3.1. Requisitos generales	67
5.3.2. Requisitos de la aplicación <i>smartwatch</i>	68
5.3.2.1. Requisitos funcionales	68
5.3.2.2. Requisitos no funcionales	69
5.3.3. Requisitos de la herramienta de autor	70
5.3.3.1. Requisitos funcionales	70
5.3.3.2. Requisitos no funcionales	73
5.4. Aplicación de <i>smartwatch</i> : autorregulación emocional	74
5.4.1. Gestor de sensores	75
5.4.1.1. Pulsómetro	75
5.4.1.2. Acelerómetro	76

5.4.1.3.	Giroscopio	76
5.4.1.4.	Podómetro	76
5.4.2.	Gestor de eventos	77
5.4.3.	Almacenamiento	77
5.4.4.	Transmisión de ficheros	78
5.4.5.	Detección de estrés	78
5.4.5.1.	Clasificador	79
5.4.5.2.	Calculador	79
5.4.6.	Regulación	79
5.5.	Aplicación de <i>smartphone</i> : herramienta de autor	82
5.5.1.	Gestión de usuarios	83
5.5.2.	Gestor de regulaciones	83
5.5.3.	Gestor de estrategias	84
5.5.4.	Editor de pasos	85
5.5.5.	Visualizador de datos	86
5.5.6.	Tutorial y configuración de la aplicación	87
5.6.	Comunicación entre dispositivos	88
5.6.1.	Conversión de las regulaciones para el envío	89
5.6.2.	Fichero JSON de regulaciones	89
5.6.3.	Protocolo de comunicación	92
6.	Evaluación	97
6.1.	Introducción	97
6.2.	Objetivos de la evaluación	99
6.3.	Primer experimento: TEA de baja funcionalidad	99
6.3.1.	Perfiles de usuario	100
6.3.2.	Materiales	103
6.3.3.	Metodología	105
6.3.4.	Resultados	110
6.4.	Segundo experimento: TEA de alta funcionalidad	120
6.4.1.	Perfiles de usuario	122
6.4.2.	Materiales	124
6.4.3.	Metodología	124
6.4.4.	Resultados	125
6.5.	Tercer experimento: usabilidad de la herramienta de autor	134
6.5.1.	Metodología	134
6.5.2.	Resultados	135
6.6.	Conclusiones	137
7.	Conclusiones	141
7.1.	Conclusiones	141
7.2.	Contribuciones de la Tesis	144
7.3.	Trabajo Futuro	145
7.4.	Publicaciones	147

7.4.1.	Publicaciones relacionadas con la Tesis	147
7.4.2.	Publicaciones sobre temas relacionados	147
7.	Conclusions	149
7.1.	Conclusions	149
7.2.	Contributions of this Thesis	152
7.3.	Future Work	153
7.4.	Publications	155
7.4.1.	Publications on the Thesis subject	155
7.4.2.	Publications on subjects related to the Thesis	155
	Bibliografía	157

Índice de figuras

2.1. Aproximación gráfica del TEA	10
3.1. Ciclo de expectativas tecnológicas de Gartner (versión 2017)	31
3.2. Enfoque bidimensional energía-valencia de las emociones	32
3.3. Difusión tecnológica generalista frente a la relacionada con la asistencia	35
4.1. Representación gráfica del Estado del Arte en torno a Taimun-Watch	38
5.1. Mapa de roles para el modelo de proceso de Taimun-Watch	59
5.2. Ciclo de vida iterativo en cascada para Taimun-Watch	61
5.3. Subsistemas del lado <i>smartwatch</i> de Taimun-Watch	75
5.4. Ejemplo de registro de eventos tras su recopilación y extracción	77
5.5. Ejemplo de registro de los sensores tras su recopilación y extracción	78
5.6. Capturas de Taimun-Watch en reloj: A. Puesta en marcha, B. Ejemplo de inicio de regulación, C. Ejemplo de fin de regulación	80
5.7. Capturas de Taimun-Watch en reloj: A. Ejemplo de paso con temporizador de llenado, B. Ejemplo de paso con temporizador circular, C. Ejemplo de paso con imagen animada	81
5.8. Capturas de Taimun-Watch en reloj: A. Ejemplo de selector de estrategias, B. Autoevaluación,	81
5.9. Subsistemas de la herramienta de autor	82
5.10. Capturas de la herramienta de autor: A. Menú lateral, B. Creación de usuario nuevo, C. Lista de usuarios	83
5.11. Capturas de la herramienta de autor: A. Menú inicial, B. Lista de regulaciones, C. Lista de estrategias	84
5.12. Capturas de la herramienta de autor: A. Edición de paso (submenú de texto), B. Edición de paso (submenú de pictogramas), C. Configuración de la estrategia	85
5.13. Capturas de la herramienta de autor: A. Calendario de eventos, B. Visualizador básico de eventos, C. Visualizador avanzado de eventos	87
5.14. Capturas de la herramienta de autor: A. Tutorial, B. <i>Backup</i> y protección con PIN, C. Visualizador avanzado de eventos	88
5.15. Proceso de sincronización del <i>smartwatch</i> y el <i>smartphone</i>	94
5.16. Diagrama de secuencia del protocolo de comunicación	95
6.1. Estrategia de intervención para el usuario A	103

6.2. Estrategia de intervención para el usuario B	104
---	-----

Índice de tablas

6.1. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario A	111
6.2. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario A	113
6.3. Resultados de los días 7, 8 y 9 con el Usuario A	115
6.4. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario B	117
6.5. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario B	119
6.6. Resultados de los días 7, 8 y 9 con el Usuario B	121
6.7. Activaciones de las estrategias para los usuarios A y B	122
6.8. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario C	126
6.9. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario C	128
6.10. Resultados del día 7 con el Usuario C	129
6.11. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario D	130
6.12. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario D	132
6.13. Resultados de los días 7, 8 y 9 con el Usuario D	133
6.14. Activaciones de las estrategias para los usuarios C y D	134
6.15. Factores de mejora en tiempo para cada usuario y tarea	135
6.16. Puntuación del cuestionario SUS en percentiles	136

Glosario de términos

Alexitimia Dificultad para identificar, expresar y gestionar las emociones de la misma manera que un individuo neurotípico. Es característica de los individuos con TEA.

Autodeterminación Característica psicológica del individuo que hace referencia a su capacidad para actuar de manera autónoma en favor a las motivaciones y el bienestar propio.

Autorregulación emocional Proceso cognitivo por el cual el individuo ajusta su reacción emocional a determinado estímulo, previniendo que esta sea perjudicial o incapacitante.

Asistencia cognitiva Actividades orientadas a la ayuda de personas con diversidad funcional cognitiva.

Computación afectiva Área de estudio que aborda el tratamiento digital de las emociones humanas para su aprovechamiento en sistemas, principalmente interactivos.

Disfunción ejecutiva Dificultad en el uso de ciertas habilidades cognitivas relativas a la organización y planificación de tareas, así como el control de la conducta, las emociones y los impulsos.

Diversidad funcional cognitiva Término más reciente para describir la discapacidad intelectual característica de personas con Síndrome de Down, TEA y otros trastornos.

Estereotipia Comportamientos repetitivos típicos de personas con TEA. Pueden ser funcionales o no funcionales.

Estigmatización Característica de tipo social asociada al uso de productos o herramientas muy llamativas o intrusivas, que marquen una diferencia claramente observable entre un usuario y otro.

Estrategia de intervención Conjunto de recursos actividades e instrucciones empleadas en la educación de personas con necesidades especiales para mitigar, prevenir o solucionar problemas de conducta que les impidan o dificulten la vida autónoma y autodeterminada.

IPO Siglas de “Interacción Persona-Ordenador”, referido al área de estudio que aborda el diseño de interfaces y estudia las características del ser humano que afectan al uso de computadores y dispositivos electrónicos.

Persona neurotípica Individuo que no está afectado por ningún trastorno clínico recogido en el manual clínico DSM relacionado con sus habilidades cognitivas.

Pictograma Metáfora visual de una actividad o tarea con un estilo definido, diseñada a modo de alternativa comunicativa para personas que tienen problemas de lectoescritura.

Smartphone Teléfono inteligente con sistema operativo capaz de ejecutar aplicaciones y realizar un número alto de funciones relacionadas con la comunicación y el ocio.

Smartwatch Reloj inteligente con capacidad de interacción, pantalla táctil y sensores. Suelen conectarse a *smartphones* para la ejecución de aplicaciones.

TEA Siglas de “Trastornos del Espectro Autista”, referido a un conjunto de trastornos neurológicos del desarrollo que comparten características comunes relacionadas con la capacidad comunicativa, comportamientos repetitivos y la identificación y gestión de las emociones.

TAC Siglas de “Tecnologías para la Asistencia Cognitiva”, referido a los sistemas, aplicaciones o herramientas destinadas a la asistencia cognitiva de personas con necesidades especiales.

Ubicuidad Característica de un sistema o herramienta tecnológica referente a su capacidad para ser accesible desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Wearables Dispositivos digitales que el usuario lleva puestos en distintas partes del cuerpo y llevan equipados sensores para obtener datos del contexto interno o externo del usuario.

A LOS CORAZONES AZULES



1 Introducción

La nueva casa estaba casi terminada cuando Úrsula lo sacó de su mundo quimérico para informarle que había orden de pintar la fachada de azul, y no de blanca como ellos querían.

*Gabriel García Márquez
Cien años de soledad (1967)*

En esta Tesis se presenta un sistema basado en *smartwatches* y *smartphones* para asistir a personas con Trastornos del Espectro Autista en el desarrollo de habilidades de autorregulación emocional. En este Capítulo introduciremos algunos conceptos relativos al TEA que servirán a modo de visión general para el estudio que se realizará en los Capítulos sucesivos con mayor profundidad, empezando por un análisis de los TEA, sus características y las principales estrategias de intervención empleadas en el ámbito educativo y doméstico, así como el estado actual del uso de tecnología para dar soporte a dichas estrategias. También se ubicará esta Tesis en una línea de investigación que proviene de un entorno con experiencia en el desarrollo y evaluación de herramientas para personas con diversidad funcional cognitiva. Por último, esbozaremos el funcionamiento general del sistema que se propone y se incluirá una breve descripción de los Capítulos que conforman esta Tesis.

1.1. Antecedentes y contexto

Los Trastornos del Espectro Autista (TEA) afectan a 1 de cada 150 niños en España, según los últimos informes del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad [1]. El término “autismo” procede del griego *autos*, que significa “uno mismo”. Se trata del nombre original que se le dio a un fenómeno observado en niños durante su edad de crecimiento que presentaban un patrón de conducta muy particular. En líneas generales, mostraban dificultad para comunicarse, socializar y un apego obsesivo por las rutinas y conductas repetitivas. La descripción clínica del autismo ha variado enormemente desde que fuera diagnosticada formalmente por primera vez en 1908, cuando Bleuler denominó “autismo” a un subconjunto de síntomas de algunos pacientes con esquizofrenia [2]. A partir de los años 40, la investigación en torno a autismo tomó forma con los trabajos de Asperger (que describió el síndrome que lleva su nombre) y Kanner [3, 4], que describieron las características del autismo en cuanto a comunicación. Las conclusiones de sus trabajos fueron las más importantes en el estudio del autismo durante los cuarenta años siguientes, hasta que en los años 70, de la mano de Lovaas, surgió el Análisis Aplicado de la Conducta (*Applied Behavior Analysis* en inglés, o ABA) [5]. Este enfoque consiste en el estudio de estrategias personalizadas para el desarrollo de habilidades que permita a las personas con TEA adquirir autonomía y mitigar las dificultades derivadas de su trastorno. El avance que supuso este paradigma, junto con la traducción de los trabajos de Asperger al inglés, provocó que la investigación en autismo se acelerara en los años 80 y ocupase una posición central en el estudio de los trastornos del aprendizaje y la psicopedagogía. La naturaleza diversa del autismo y la dificultad para definir una sintomatología común provocaron que se acabase por hablar del *espectro del autismo*, en referencia a los diversos trastornos que pueden enmarcarse dentro de sus características, y de ahí el término “trastornos del espectro autista”.

Hasta hoy, el TEA ha seguido suponiendo un fenómeno transversal en lo que a trastornos del desarrollo se refiere. Esto se debe, por una parte, a que su origen aún sigue siendo objeto de estudio (una combinación de factores genéticos y del entorno [6]) y, por otra parte, a la gran diversidad de estrategias que existen para mejorar la calidad de vida y autonomía de estos individuos (ver Capítulo 2). Estas estrategias se diseñan en torno a dificultades particulares cuyo impacto en la vida del individuo puede amortiguarse con la adquisición de ciertas habilidades y destrezas. Entre ellas, encontramos la necesidad de adquirir habilidades para la autorregulación emocional y de la conducta. En la vida diaria de un individuo con TEA, la dificultad para identificar y gestionar las emociones propias tiene consecuencias graves en la conducta a corto plazo y en el estado anímico a largo plazo [7], con altas probabilidades de derivar en problemas de ansiedad y depresión. La introducción de estrategias para adquirir habilidades de autorregulación emocional es indispensable en el desarrollo de estas personas, y su puesta en práctica involucra a educadores, tutores y familiares. Estas estrategias, por

lo general, están formadas por conjuntos de instrucciones adaptadas a las necesidades de comunicación del individuo, y que le guían en la puesta en práctica de conductas que le servirán para los propósitos mencionados anteriormente. Las capacidades comunicativas de estas personas son muy variadas, y por ello se suelen emplear vías de comunicación alternativa como el uso de pictogramas y recursos visuales organizados en secuencias de pasos. La efectividad de estas estrategias depende en gran medida de su grado de personalización, la facilidad de implementación en la vida del individuo [8] y la capacidad de ser aplicada en el momento justo en el que sufre un episodio de alteración emocional (estrés, ira, conductas explosivas). En muchos casos, lograr una estrategia de intervención con estas características supone un coste logístico y económico elevado, ya que se precisa la elaboración de materiales y personal experto que esté disponible para proporcionar los recursos necesarios en el momento adecuado.

Por otra parte, las dificultades derivadas de estos trastornos constituyen un reto científico que involucra a varias áreas de conocimiento como la psicología, pedagogía, psiquiatría, y neurología. A ellas se le pueden sumar la ingeniería informática y de software, cuyas disciplinas abarcan la posibilidad de introducir tecnología como plataforma para proporcionar asistencia en las actividades de su vida diaria. En el Capítulo 3 se hace un estudio de las consecuencias derivadas de aplicar tecnología para dar soporte a las estrategias de intervención creadas para estos usuarios. En esta Tesis se propone un sistema que permita implementar estrategias para la autorregulación emocional basadas en los mecanismos visuales y de secuenciación comentados anteriormente, y en cuyo paradigma se basan la mayoría de estrategias de intervención empleadas. De esta manera, los educadores podrán crear y gestionar estos recursos de manera sencilla y menos costosa, y los individuos con TEA podrán consumirlos sin necesidad de personal experto presente en todo momento, con la ayuda de un dispositivo capaz de detectar los episodios oportunos y proporcionar los recursos necesarios (a partir de los contenidos creados por los expertos) para recuperar el estado de calma.

Esta Tesis ha sido elaborada a en el contexto del Laboratorio de Inteligencia Ambiental (AmILab) de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid. La línea de investigación original de este grupo consistía en el desarrollo de tecnologías ubicuas integradas en el entorno doméstico para facilitar tareas de la vida cotidiana. En esta línea, se realizaron contribuciones relativas a arquitecturas de sistemas distribuidos [9], ontologías descriptivas para la adaptación e incorporación de nuevos dispositivos al sistema [10] e interfaces gráficas [11] y de voz [12] para interactuar con dicho entorno. Sin embargo, la aparición de las tecnologías móviles supuso un cambio de paradigma que extendía el uso de tecnología a exteriores y otros contextos centrados en el usuario, por lo que las interfaces exclusivamente domésticas perdieron relevancia. Por tanto, parte de la línea de investigación del laboratorio experimentó un cambio de dirección centrado en los usuarios que podrían tener más necesidades que se pudieran satisfacer tanto con las tecnologías ubicuas como los nuevos dispositivos

móviles. De esta manera, se llegó al estudio de personas con necesidades especiales, y en concreto a las personas con diversidad funcional cognitiva (antes llamada discapacidad intelectual). Se desarrollaron tres sistemas que formaban parte de un sistema integral de asistencia para personas con estas necesidades: AssisT-Task [13], AssisT-In [14] y AssisT-Out [15]. Con la aparición de los dispositivos *wearables* y otras tecnologías emergentes, en el laboratorio se analizaron las características de estos nuevos dispositivos, y en qué manera podrían satisfacer las necesidades de algún colectivo de usuarios con necesidades especiales. Fue así como se llegó a los *smartwatches* y las personas con TEA. A continuación haremos una breve descripción del sistema que proponemos y que será objeto de esta Tesis.

1.2. Taimun-Watch: sistema *wearable* de autorregulación emocional

Esta Tesis propone los dispositivos *wearables*, y en concreto los *smartwatches* (relojes inteligentes) como plataforma para implementar un sistema de apoyo para la autorregulación emocional para personas con TEA. Los *wearables* son aquellos dispositivos electrónicos que el usuario lleva “puestos”, de modo que se abordan vías de interacción alternativas, y en ocasiones son capaces de obtener datos del contexto del usuario que nutren su funcionalidad. Suelen diseñarse de tal manera que se adapten al cuerpo del usuario, y debido a ello tienen formas de prendas de ropa, accesorios y dispositivos acoplados a las extremidades, tronco o cabeza. Concretamente, los *smartwatches* permiten la ejecución de aplicaciones móviles interactivas a través de la pantalla y cuentan con varios sensores que permiten detectar el estado interno del usuario.

Esta funcionalidad permite implementar mecanismos de detección que activen las ayudas interactivas (estrategias) en el reloj en cualquier momento y lugar, cuando sea necesario para la persona con TEA. El sistema, llamado Taimun-Watch, contará con una herramienta de autor para *smartphone* que permitirá crear estos materiales utilizando pictogramas, imágenes, animaciones, texto, temporizadores, refuerzos y otras opciones de configuración. De esta manera, se pretende que las estrategias sean lo más personalizadas posible. El *smartphone* enviará el contenido al *smartwatch* con un mecanismo sencillo de sincronización, durante el cual el *smartwatch* devolverá los registros de uso de la aplicación en ejecuciones pasadas y los datos provenientes de los sensores, de manera que los usuarios del *smartphone* puedan observar el efecto de las estrategias creadas anteriormente, y modificarlas en consecuencia si es necesario. En el Capítulo 5 se detalla la funcionalidad de este sistema, y en el Capítulo 6 se evalúa con usuarios en un entorno real. A modo de ejemplo para comprender el propósito de la aplicación antes de pasar a los capítulos siguientes, describiremos un caso de uso en el que se aclara el objetivo del sistema y el tipo de escenario en el que será utilizado.

1.3. Caso de uso

Elena es una chica con trastorno general del desarrollo no especificado (PDD-NOS, en inglés), que está considerado dentro del espectro autista. Tiene 18 años y presenta síntomas de discalculia (dificultad para el trabajo y las operaciones con números) y dislexia. Elena tiene miedo a los perros, y sufre episodios de crisis y conductas explosivas cuando se encuentra con uno, a pesar de que no interactúen con ella. Si está en interior, huye hacia una habitación o espacio apartado y se niega a salir. Incluso si el perro abandona el lugar, no recupera la calma, tiende a llorar y presenta conductas desafiantes ante su familia y amigos.

Elena disfruta mucho cantando las canciones de Bob Esponja, su serie favorita. La canta cuando se siente feliz, o cuando realiza actividades con sus amigos. Le gusta dibujar al personaje principal y se vuelve habladora y receptiva cuando la serie empieza en la televisión. Antonio, su tutor, recibe un smartwatch con Taimun-Watch instalado. Crea con su smartphone una estrategia de intervención que contiene imágenes divertidas de Bob Esponja y una animación en formato GIF de la serie. A continuación incluye los pictogramas que representan las instrucciones para realizar una respiración guiada, y que ella conoce porque los utilizan en clase para practicar cuando se altera. Configura la estrategia para que vibre el smartwatch cuando se inicie. Después, sincroniza el smartphone con el smartwatch, que recibe dichos recursos configurados apropiadamente. Antonio hace a Elena llevar puesto el smartwatch y ella se da cuenta de que es parecido al reloj de muñeca que lleva en su día a día, pero este se ilumina y su pantalla es táctil. Los amigos de Elena no notan nada distinto en ella porque están acostumbrados a ver a gente con reloj. Antonio se lo configura con una cubierta al gusto de Elena para que vea la hora y pone en marcha la aplicación, que empieza a monitorizar el movimiento y el pulso cardíaco de Elena.

Luis, un amigo de Elena, trae a clase el cachorro de perro labrador que ha adoptado su familia para que lo conozcan sus compañeros y le ayuden a ponerle nombre. Elena ve al perro, grita y huye a otra aula. Su pulso cardíaco se acelera y aletea con las manos repetidamente. Taimun-Watch, que se sigue ejecutando en segundo plano, detecta un episodio de estrés, y activa el método de regulación emocional que programó Antonio y que contiene la estrategia descrita anteriormente. El smartwatch vibra, captando la atención de Elena, y en la pantalla sale una animación GIF de Bob Esponja. Elena, fascinada, comienza a cantar la canción de Bob Esponja, y deja de pensar en el perro de Luis. Entonces, ve algunas imágenes de la serie en el smartwatch, y se da cuenta de que cambian si toca la pantalla. Tras la secuencia de imágenes, ve el pictograma que Antonio utiliza con ella, y un temporizador circular empieza a avanzar en torno a la pantalla mientras ella inhala y exhala, como le han enseñado. Al final de la secuencia, sale un mensaje en la pantalla: “¡Bien hecho, Elena!”. Elena se siente más relajada

y deja que Antonio entre en el aula donde se encuentra. Juntos esperan a que Luis termine de enseñar a su perro en clase y se lo lleve y vuelven después juntos a clase con sus amigos. Elena fue capaz de relajarse sin la ayuda de Antonio y pudo retomar las actividades del día sin problema.

1.4. Estructura de la Tesis

La presente Tesis se estructura de la siguiente manera:

- **2. Trastornos del Espectro Autista:** en este Capítulo se describirán con detalle los Trastornos del Espectro Autista. Partiendo de la definición clínica, se hará un repaso por las dificultades principales que presentan estos individuos, y nos detendremos en los problemas relacionados con la autorregulación emocional y el control de la conducta. A continuación veremos las habilidades que se entrenan en los centros de educación especial para mitigar dichas dificultades y qué problemas presentan para utilizar tecnología a la hora de llevar a cabo estas estrategias.
- **3. TEA y tecnología:** este Capítulo parte del estudio de la interacción persona-ordenador (IPO) para delinear las posibilidades que ofrece la tecnología en cuanto a la autorregulación emocional y la detección de emociones de personas con TEA. A continuación se hace un repaso por las áreas de estudio relevantes para el objeto de esta Tesis y se extraen las ideas principales que servirán de base para el diseño del sistema que se propone en los Capítulos sucesivos. El Capítulo acaba exponiendo los argumentos que llevan a utilizar los *wearables*, y en concreto los *smartwatches* para implementar el sistema que se describe en el siguiente Capítulo.
- **4. Estado del Arte:** se trata de una revisión de los avances actuales en las áreas de estudio relevantes para esta tesis: las tecnologías para la asistencia, la computación afectiva y las tecnologías *wearables*. Se analizarán los sistemas que tengan objetivos similares a los de esta Tesis, ya sea en cuanto a la faceta emocional del usuario de un sistema, como a usuarios con necesidades especiales y/o que empleen tecnologías *wearables* para sus propósitos. Las conclusiones extraídas por los autores mencionados en sus estudios servirán de base para argumentar las decisiones de implementación que se han tomado en el sistema Taimun-Watch que se presenta y evalúa en los Capítulos sucesivos.
- **5. Taimun-Watch:** en este Capítulo describiremos el sistema Taimun-Watch, que utiliza *smartwatches* y *smartphones* para proporcionar estrategias de autorregulación emocional a personas con TEA y sus educadores. Partiendo del marco

teórico expuesto en Capítulos anteriores, el Estado del Arte y reuniones con expertos en la asistencia y educación de personas con TEA, elaboraremos unos requisitos para que este sistema tenga la capacidad de servir como plataforma para implementar las estrategias que se deseen. A continuación, describiremos los subsistemas que conforman las dos partes de las que consta el sistema, así como la comunicación entre las mismas.

- **6. Evaluación:** para comprobar la eficacia del sistema se describirán dos experimentos realizados con usuarios reales con TEA y otro adicional para comprobar la usabilidad de la herramienta de autor *smartphone* con profesores de personas con TEA. Posteriormente se realizará un análisis de los resultados obtenidos y se extraerán conclusiones al respecto teniendo en cuenta los objetivos de esta Tesis.
- **7. Conclusiones:** se recopilan las ideas principales de cada uno de los Capítulos anteriores, se enlazan los argumentos expuestos para tomar las decisiones descritas en la descripción del sistema y se comparan los resultados obtenidos con los objetivos propuestos al diseñar el mismo. Por último, se describirá el trabajo futuro que se realizará tomando esta Tesis como punto de partida y se enumerarán las publicaciones realizadas a partir de este trabajo.



2 Trastornos del Espectro Autista

Desde la sangre galopando en sus
oídos le llegaban las palabras de la
mujer: primero una sala azul, después
una galería, una escalera alfombrada.

Julio Cortázar
Continuidad de los parques (1956)

El término “Trastornos del Espectro Autista” (TEA) es el más reciente para describir el fenómeno del “autismo”, y consiste en un grupo heterogéneo de trastornos neurológicos del desarrollo [16]. Dicho término está recogido en la clasificación clínica más reciente del DSM-V [17], donde se establecen los dos aspectos principales que determinan la presencia de TEA en un individuo. Por una parte suelen observarse dificultades generalizadas de comunicación e interacción social; y por otra parte, patrones repetitivos de comportamientos, actividades e intereses, y que se manifiestan a través de varios síntomas como obsesiones, rebeldía y frustración. Se habla de *espectro* autista porque raramente se da una sintomatología idéntica entre dos individuos, pero sus conductas entran dentro de categorías que sí otorgan una identidad común a sus dificultades. Ubicar el autismo de un individuo en una zona u otra del espectro depende del desarrollo de sus capacidades: se dice que está en la zona baja del espectro cuando sus capacidades comunicativas y sociales son limitadas o inexistentes, mientras que un individuo en la zona alta del espectro es capaz de realizar actos comunicativos de forma fluida y, en ocasiones, sus síntomas pueden resultar imperceptibles en una observación superficial. Es muy difícil, por tanto, hacer subcategorías a partir de aspectos comunes. En la zona alta del espectro, o como también se suele decir, en casos de autismo de *alta funcionalidad* [18], los diagnósticos son materia de debate científico continuo. Por ejemplo, el Síndrome de Asperger, que tradicionalmente era un diagnóstico propio

enmarcado dentro del espectro, pasó a desaparecer como tal en el DSM-V [17].

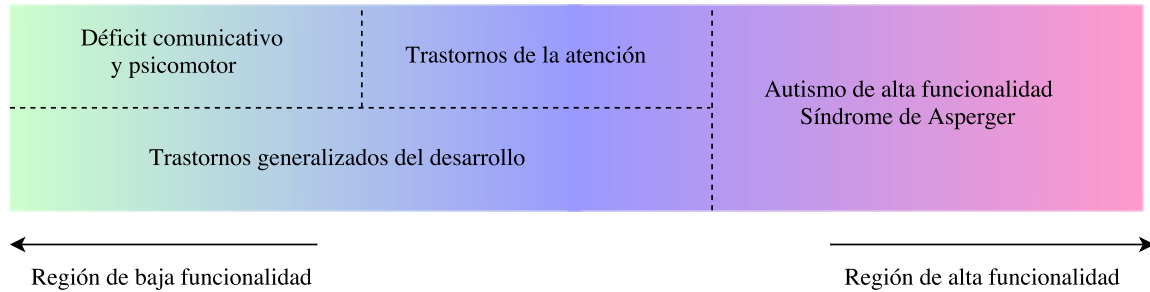


Figura 2.1. Aproximación gráfica del TEA

Esta naturaleza tan heterogénea de los TEA hace que su diagnóstico sea complejo y costoso. En ocasiones, a pesar de que dichos síntomas se manifiesten en las primeras etapas de la infancia, el diagnóstico no se formaliza hasta la adolescencia o vida adulta. Esto se realiza a través de observaciones exhaustivas del comportamiento del individuo y un comité de evaluación formado por un equipo multidisciplinar de profesionales clínicos [19, 20]. Aunque estos síntomas son muy variados y de múltiples facetas (estereotipias, inflexibilidad, rituales, ámbito de intereses muy limitado, conductas obsesivas, hipersensibilidad sensorial, etc.), los expertos tienden a concretarlos como “dificultad para el control de las acciones”, también denominada “disfunción ejecutiva” [18, 21, 22].

2.1. Disfunción ejecutiva

La disfunción ejecutiva afecta a las siguientes habilidades del individuo con TEA [18]:

- Capacidad de planificación y organización.
- Control de impulsos.
- Inhibición de respuestas inadecuadas.
- Flexibilidad de pensamiento y acción.

Un enfoque frecuente en cuanto a la disfunción ejecutiva consiste en concebirla como un conjunto de dificultades prácticas a la hora de organizar y secuenciar los pasos que componen una tarea, especialmente el primer y último paso. Estas dificultades, además, se agravan y fundamentan en la ausencia o déficit de mecanismos de regulación

de las emociones y la conducta. Esta falta de regulación emocional acarrea problemas significativos como rabietas frecuentes, tendencia al lloro, cambios rápidos de humor y frustración si las exigencias del individuo no se cumplen fácilmente. Una característica muy frecuente en estas personas es la dificultad para identificar y describir sensaciones y sentimientos, también llamada *alexitimia*. En consecuencia, la manera en que estos individuos manifiestan ciertos estados emocionales es problemática: comportamientos explosivos, enfados y agresividad [23]. Se dice, entonces, que las personas con TEA carecen de los mecanismos básicos de autorregulación emocional, que Mazefsky define como “un conjunto de modificaciones intencionales o automáticas del estado emocional del individuo que redirige la conducta del mismo hacia un objetivo o a adaptarse a sus circunstancias” [7]. Mazefsky señala también los efectos de esta falta de regulación emocional a largo plazo como los causantes de otros problemas más graves como ansiedad, depresión y trastornos de carácter compulsivo.

2.2. Alexitimia

En la sección anterior se mencionaba la alexitimia como la dificultad que presentan de los individuos con TEA para identificar, describir y detectar los sentimientos propios y de los demás [24]. También engloba aquellas dificultades relacionadas con distinguir entre sensaciones corporales de origen fisiológico y de origen emocional, así como problemas en el reconocimiento de indicios y comprensión de símbolos. Identificar y gestionar estas emociones propias es necesario para una autorregulación emocional adecuada, por lo que los individuos con TEA, y por tanto, con alexitimia, deben recibir asistencia en este aspecto. Un gran número de estímulos de la vida cotidiana son susceptibles de provocar alteraciones no deseadas en la conducta de personas con TEA. Por ejemplo, Ashburner [23, 25] describe y categoriza las fuentes más comunes de estrés en individuos con síndrome de Asperger y autismo de alto funcionamiento (ambos en la región más alta del espectro) que estudian en centros de educación no especializada: ocasionalmente sufren acoso, frustración causada por el fracaso escolar y, frecuentemente, la respuesta del personal académico ante los desafíos que supone la conducta de estos individuos es deficiente. La alexitimia combinada con este factor de hipersensibilidad sensorial evidencia la necesidad de intervención en la esfera emocional de personas con TEA.

2.3. Autodeterminación y autorregulación emocional

La autodeterminación, esto es, la capacidad para tomar decisiones de forma autónoma y llevar a cabo las acciones derivadas de la voluntad de uno mismo, es un derecho fundamental de los individuos con TEA, tal y como se recoge en la Convención sobre los Derechos de Personas con Discapacidad [26]. Se trata, además, de una dimensión de la calidad de vida que contribuye al bienestar del individuo y a su inclusión en el entorno. Para lograr que una persona muestre una conducta autodeterminada, a lo largo de su proceso educativo y de desarrollo, como reza dicho texto, se le deben proporcionar oportunidades para su aprendizaje.

La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad hace referencia a la autodeterminación en sus artículos 3 y 7:

Artículo 3: El respeto a la dignidad, independencia y libertad de las personas con discapacidad para tomar decisiones

Artículo 7: El derecho a expresarse con libertad, en igualdad de condiciones y con los apoyos adecuados teniendo en cuenta edad y tipo de discapacidad.

El nivel de calidad de vida es mayor cuando la persona dispone de estrategias y apoyos que le permiten aumentar el control sobre diferentes aspectos de su vida, esto es, cuando presenta una conducta autodeterminada. La función de las personas que rodean al individuo con TEA es la de fomentar y promover esta conducta autodeterminada, dotándola de los apoyos que resulten necesarios y generando de manera continuada oportunidades para llevar a cabo esta conducta.

Las conductas autodeterminadas se componen de cuatro características indispensables [27]:

- Autonomía
- Fortalecimiento
- Autorrealización
- Autorregulación

2.3. AUTODETERMINACIÓN Y AUTORREGULACIÓN EMOCIONAL

Esta Tesis pone el enfoque en el aspecto de **autorregulación** de una persona con TEA para contribuir a su capacidad de autodeterminación. Se entienda la autorregulación como aquella cualidad que permite que la persona analice el ambiente y su repertorio de respuestas para desenvolverse en el mismo y tomar decisiones de interacción con dicho entorno [7]. Los individuos con TEA presentan de forma habitual dificultades en llevar a cabo la autorregulación debido a su alexitimia, que se describía en el apartado anterior.

La autorregulación, a su vez, consta de tres partes diferenciadas que implican el desarrollo de diferentes habilidades:

Automonitorización: Hace referencia al análisis y comprensión de la propia actuación, poniendo en relación a la persona con el entorno.

Autoevaluación: Análisis de la situación comparando lo que *se hace* con lo que *se debería hacer*.

Autorrefuerzo: Administración a uno mismo de contingencias gratificantes.

Estas habilidades de autorregulación son fundamentales en las personas con TEA como estrategias con las que hacer frente a las dificultades producidas en consecuencia de la disfunción ejecutiva. Los siguientes componentes de las conductas autodeterminadas destacan por su íntima relación con la autorregulación y con las estrategias diseñadas para llevarla a cabo –y de las que se hablará más adelante–:

- Elección y toma de decisiones
- Resolución de problemas
- Establecimiento de metas y objetivos
- Adquisición de habilidades
- Control interno

Además, debe tenerse en cuenta que la autorregulación incide en dos dimensiones principales del individuo con TEA: la emocional y la conductual [28]. Para poder trabajar la respuesta de la persona en estos dos aspectos, es necesario tener en cuenta diferentes factores que se trabajan de forma específica e individualizada, para adaptarse a las necesidades de cada persona. A modo de ejemplo:

Autorregulación emocional

- Establecer gradaciones en la intensidad emocional
- Ajustar la reacción emocional a la intensidad adecuada
- Identificar las situaciones que provocan distintas intensidades emocionales y adaptar la reacción emocional a las mismas.
- Desarrollar estrategias de control emocional en momentos de crisis.

Autorregulación conductual

- Aprender a identificar situaciones que generan frustración o estrés.
- Establecer mecanismos para evitar situaciones no deseables.
- Aprender a gestionar el estrés que provocan dichas situaciones
- Aprender a canalizar un episodio de ira o enfado.

Como se ha explicado, este tipo de objetivos son los que se marcan a la hora de diseñar y llevar a cabo una estrategia de intervención en un individuo con TEA. A continuación se hablará de ellas, cuáles son las más utilizadas y en qué casos han demostrado ser más eficaces.

2.4. TEA y estrategias de intervención

El objetivo general de cualquier estrategia de intervención para personas con TEA es aumentar el nivel de autonomía del individuo, así como reducir al máximo las dificultades derivadas de las características de su TEA [29]. Las estrategias de intervención efectivas facilitan el desarrollo y el aprendizaje, estimulan la capacidad social, mitigan conductas problemáticas y apoyan la labor de familiares y educadores. Sin embargo, suelen ser costosas de implementar y gestionar, debido al material, tiempo y planificación que exigen a las personas de su entorno. La causa de la complejidad de estas estrategias de intervención es que el propio TEA es complejo, con muchas aristas que divergen y se entrelazan en las áreas de psicología, neurobiología y pedagogía [30]. Además, algunas de estas estrategias se aplican a lo largo de toda la vida del individuo [19]. Cualquier estrategia de intervención es diseñada a partir de metodologías al servicio de las características y necesidades comunes de las personas con TEA. Partiendo de esta premisa, es conveniente que los programas de intervención tengan en cuenta lo siguiente:

Estructuración La enseñanza de habilidades debe ser estructural, clara y no dar por hecha aprendizajes previos. Una buena estructuración de tareas tiene en cuenta

2.4. TEA Y ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN

la segmentación en pasos y la coherencia interna de la secuencia de acciones que la comprenden.

Componente evolutivo Debe partir del nivel de desarrollo evolutivo de la persona y adaptarse a sus características individuales.

Funcionalidad Las habilidades adquiridas con esta estrategia de intervención deben ser útiles para la vida del individuo y ser aplicables en entornos reales.

Generalización Un sistema de generalización aplicado a un programa de intervención consiste en estudiar el método de maximizar la funcionalidad mencionada anteriormente, así como otorgarles la flexibilidad suficiente como para permitir su expansión a nuevas habilidades del usuario y nuevos contextos en los que se ubique durante su vida.

Utilizar esquemas de aprendizaje sin error Este tipo de estrategia disminuyen la frustración de la persona a la que se aplica y contribuyen a aumentar la motivación. Según las habilidades objetivo se van adquiriendo, las ayudas se retiran paulatinamente para aumentar la autonomía y la independencia del individuo.

Utilizar apoyos visuales Debido a que, como se ha dicho anteriormente, las dificultades comunicativas son comunes en el espectro autista, las estrategias de intervención han de apoyarse en sistemas de comunicación alternativos basados en material visual. Esto se debe a que estos individuos tienen buenas competencias en la vía perceptiva, que se convierte en su principal acceso a la información del entorno. El código de los apoyos visuales puede ser muy variado, empleando tanto imágenes –principalmente pictogramas– como palabra escrita en el caso de que la persona tenga habilidades de lectoescritura, así como otras ayudas, marcadores y códigos que contribuyan a facilitar la comprensión del entorno, instrucciones y tareas.

Existe un corpus amplio y rico de literatura sobre estas estrategias de intervención y prácticas de base empírica [30]. A continuación describiremos las que se practican de forma generalizada. En esta Tesis se ha optado por no realizar una clasificación de las mismas, ya que, de realizarse, se trataría de categorizarlas según el objetivo particular de cada estrategia; sin embargo, estos objetivos, como se ha comentado, convergen en alguna de sus facetas debido a la naturaleza compleja del TEA.

2.4.1. Entrenamiento de pruebas discretas (DTT)

Se trata de una estrategia para individualizar y simplificar el método de aprendizaje de un individuo con TEA [31]. En particular, se utiliza para enseñar al individuo a adquirir nuevos patrones funcionales de conducta (e.g.: incluir nuevos sonidos en su

lenguaje o movimientos para expresarse) y discernimiento (e.g.: escoger la respuesta adecuada a una demanda de alguien de su entorno). También se utiliza para entrenar habilidades complejas puntuales y mitigar comportamientos perjudiciales. A pesar de ser de las estrategias de intervención más utilizadas, debe combinarse con otras para ser eficaz, y además requiere un educador especializado y una planificación extensa y constante. Consiste en la división sistemática de tareas en pequeños pasos, cada uno con una pequeña evaluación asociada. Cada uno de estos pasos se llama *prueba discreta* o, simplemente, *prueba*. A pesar de la división de tareas que se realiza para lograr que el individuo realice pequeños progresos a través de pausas estratégicas entre subtarear, el educador debe hacer al usuario consciente en todo momento de la unidad mayor que conforman estas divisiones. Esto se lleva a cabo utilizando un material de fácil identificación para el individuo y un plan de entrenamiento regular.

2.4.2. Intervención mediada con los padres

Se trata de implicar a los padres en el proceso de aprendizaje y desarrollo del individuo con TEA [32]. De esta manera, el enfoque pedagógico es homogéneo en los distintos contextos de la vida diaria del individuo y además se reduce la incertidumbre y el estrés de los padres en el trato con su hijo. Esta es una estrategia de intervención temprana, es decir, que requiere ser implementada en las dinámicas del individuo desde el momento del diagnóstico, de manera que no se exija un proceso de re-aprendizaje por parte de los padres o del propio individuo. Sin embargo, este tipo de intervenciones también deben combinarse con otras para ser efectivas, con el inconveniente de que no todos los padres adquieren el conocimiento necesario para llevar a cabo algunas de las mismas. Además, exige una constancia y regularidad por su parte que supone grandes dificultades para algunos padres por razones laborales, psicológicas o sociales.

2.4.3. Intervención mediada por pares

Esta estrategia se basa en los principios básicos del conductismo y la teoría del aprendizaje social. Los educadores se especializan en crear situaciones sociales reales de forma natural entre pares de individuos con TEA. Estos educadores deben, por tanto, esquematizar y encontrar oportunidades dentro de las dinámicas educativas del individuo para propiciar estas situaciones [33]. Esta fórmula, por tanto, crea situaciones en las que se practican habilidades sociales y se adquieren conocimientos sobre respuestas adecuadas e inadecuadas dentro de un entorno seguro, que es generalmente el educativo. La eficacia de estas estrategias de intervención ha sido comprobada de forma empírica, ya que en el marco teórico existían discrepancias sobre si las interacciones entre pares de individuos con TEA darían lugar a conductas funcionales en el mundo real.

2.4.4. Sistema de comunicación por intercambio de imágenes (PECS)

Se trata de una estrategia de intervención que entra dentro de los Sistemas de Comunicación Alternativa y Aumentativa o SCAA. Consiste en introducir en los patrones comunicativos del individuo un conjunto de imágenes que llevará consigo impresas a lo largo de su día a día. Estas imágenes constituyen unidades atómicas de información, que se pueden combinar para formar mensajes, y se muestran al interlocutor para comunicarse. En España, el soporte para PECS más utilizado es el de ARASAAC¹. Estos sistemas, además de ser utilizados para la comunicación a nivel de individuo, se suelen emplear para actividades grupales, como apoyo del material escolar y hacer más accesible la señalética de los centros educativos.

2.4.5. Entrenamiento de respuesta fundamental (PRT)

Es una de las estrategias más utilizadas. Consiste en un proceso previo de observación donde se analizan los comportamientos que sí resultan funcionales del individuo a nivel social y comunicativo, y lo estimulan a que los repliquen y que sustituyan ecolalias y estereotipias no funcionales [34]. La eficacia de este tipo de entrenamientos radica en que se centra en las conductas clave –o fundamentales– para el desarrollo social, comunicativo y educativo del individuo. Para ello se utilizan juegos y actividades en los que el educador propicia interacciones estructuradas o no estructuradas para que el individuo practique de forma espontánea esas conductas funcionales. Se trata de un entrenamiento intensivo que también incluye elementos de hiperestimulación sensorial, y que suele ser efectivo para tratar los comportamientos más difíciles de manejar. Es combinada a menudo con las estrategias mediadas por los padres, de tal forma que se convierte en una interacción estándar en la vida cotidiana de la persona con TEA en lugar de una actividad puntual durante las horas lectivas.

2.4.6. Historias sociales

Es un enfoque narrativo para enseñar qué respuestas sociales son adecuadas según la situación [35]. Estas situaciones que se plantean también incluyen aquellos indicios afectivos de otras personas que el individuo debe aprender a leer para lograr desenvolverse en sociedad adecuadamente, según el nivel comunicativo y la zona del espectro en la que se encuentre. Para llevar a cabo este tipo de narrativas, se suelen utilizar apoyos

¹Los símbolos pictográficos incluidos en las Figuras de esta tesis se han extraído del repositorio ARASAAC (<http://catedu.es/arasaac/>). Son parte de una obra colectiva propiedad de la Diputación General de Aragón y han sido creados bajo licencia Creative Commons.

visuales como el descrito para PECS o recursos multimedia digitales. Esta estrategia de intervención es de las más clásicas, y aunque su eficacia se ha venido demostrando empíricamente, sigue estando limitada por el hecho de plantear situaciones hipotéticas y no ubicar al usuario en un contexto real en el que deba utilizarlas.

2.4.7. *Video-modeling*

De un modo equivalente a las historias sociales, diversas situaciones de interacción social son expuestas al individuo a través de vídeo [36]. Esta estrategia se fundamenta en la capacidad de aprendizaje por imitación que se desarrolla en la infancia. Los individuos con TEA observan interacciones sociales funcionales –en ocasiones, llevadas a cabo por otros individuos con TEA– y se realizan pausas en el visionado para que practique lo que se ha visto con ayuda del cuidador. Gracias al aumento de uso de tecnología en las aulas, esta estrategia se puede llevar a cabo en más lugares y con varios dispositivos como *smartphones*, *tablets* y pizarras digitales.

2.4.8. Estrategias de autodeterminación

Son un conjunto de intervenciones ideadas para individuos de alto funcionamiento o con trastornos ubicados en la zona alta del espectro [37]. También se utiliza en otros individuos que están en centros educativos no especializados. Se basan en estimular al estudiante para que realiza auto-observaciones de su estado durante la realización de actividades escolares. También se les invita a realizar auto-evaluaciones de dicha conducta y que aporten ideas sobre cambios que se podrían hacer sobre esa conducta para hacerla más funcional. Para ello, en ocasiones se realizan grabaciones que luego analizan y además se ponen objetivos a cumplir para mejorar esas conductas que les causan problemas. Estas estrategias se combinan con aquellas que refuerzan las conductas positivas del individuo, y que veremos a continuación.

2.4.9. Refuerzos de conducta positiva

Se denomina así a un conjunto de estrategias cuyo objetivo es analizar cuáles son las bases funcionales de las conductas más desafiantes de un individuo con TEA [38]. Es decir, ya que estos comportamientos tan difíciles se mantienen en el tiempo por una razón funcional, esto es, sirven a algún propósito para el individuo, se busca una manera de sustituir o canalizar esas conductas para hacerlas menos problemáticas manteniendo la funcionalidad. Existen varias estrategias de intervención de este tipo:

Evaluación de conducta funcional (FBA)

En muchos casos, las personas con TEA son incapaces de explicar el motivo de una conducta inapropiada, ya sea por dificultades cognitivas mayores o capacidad baja de comunicación. La evaluación de conducta funcional es una práctica derivada del análisis funcional de la conducta [39], cuyo objetivo es determinar el origen de estas conductas a través de la recolección de datos y la ejecución de experimentos que estudian el entorno del individuo.

Control de estímulos

Debido a que el origen de estas conductas desafiantes está relacionado frecuentemente con la hipersensibilidad de los individuos con TEA, el control de estímulos consiste en una categorización exhaustiva de los estímulos presentes en su entorno [40]. En esta categorización se incluye información relacionada con la necesidad de presencia de dichos estímulos (es decir, si se pueden eliminar de su entorno o son inevitables) y métodos para canalizar la reacción del individuo ante ellos.

Interrupción de respuesta

Esta técnica se emplea con individuos que presentan ecolalias o estereotipias vocales [41]. Consiste en detectar los momentos en los que se producen para proporcionar al individuo un juguete o actividad manual que actúe como sustituto progresivo a la ecolalia. En algunos casos, incluso se consigue que la actividad sustitutiva tenga un carácter funcional respecto al motivo de la ecolalia.

Apoyo de comunicación funcional

Similar a la interrupción de respuesta, con la diferencia de que la actividad sustitutiva es un elemento comunicativo reconocible (e.g.: una señal con la mano, un sonido, una palabra) [42]. Suele aplicarse a individuos con TEA cuyas necesidades comunicativas sean muy deficientes y las conductas estereotípicas especialmente problemáticas.

Extinción de estímulos

En psicología, la extinción conductual se basa en la idea de que, si aquello que el individuo encuentra en su entorno que refuerza su conducta disfuncional desaparece,

la propia conducta desaparecerá progresivamente en consecuencia [43]. Por tanto, una estrategia de intervención basada en extinción de estímulos tratará en detectar dichos refuerzos contextuales y eliminarlos para producir una mejora en el comportamiento del individuo.

Refuerzo diferencial

A menudo combinada con la extinción de estímulos [44], consiste en marcar un claro refuerzo positivo en las conductas funcionales espontáneas del individuo, de tal forma que tienda a replicar de forma natural estas, y se favorezca la extinción de las conductas estereotípicas o disfuncionales.

2.5. Tecnología para la asistencia de personas con TEA

Las estrategias de intervención descritas utilizan frecuentemente material adicional o requieren de un esfuerzo logístico que muchas veces es costoso. Por ello, el uso de tecnologías suele estudiarse para facilitar dichas tareas. En esta sección estudiaremos las implicaciones que tiene utilizarlas en el entorno de individuos con TEA.

2.5.1. Aceptación y estigma social

El uso de tecnología aplicada a dificultades de personas con diversidad funcional cognitiva en general es un área extensa en la literatura. Sin embargo, un aspecto que se suele obviar en el diseño y las propuestas de este tipo de tecnologías es lo que se denomina *aceptación* por varios autores [45, 46, 8, 47]. La aceptación de una propuesta tecnológica consiste en la proyección del uso de la herramienta en la vida del usuario tras la fase de evaluación: aunque el producto sea robusto, eficaz y eficiente, el éxito real depende de que el usuario lo utilice verdaderamente tras la fase de evaluación en su vida cotidiana. Se podría considerar como el equivalente al mantenimiento en un sistema software estándar pero con las implicaciones adaptativas que suponen este tipo de usuarios. Se dice que la aceptación es el resultado de la aplicación eficaz de las siguientes ideas en el producto [8]:

- Bajo potencial de estigmatización
- Implicación de la familia en el aprendizaje del uso de la herramienta.

- Nivel previo de uso de tecnologías.
- Usabilidad
- Eficacia
- Baja intrusividad en su uso
- Fiabilidad
- Facilidad de:
 - Mantenimiento
 - Configuración
 - Reemplazo
 - Actualización

El primero de los elementos mencionados se refiere a la estigmatización social, que consiste en la diferencia que se percibe en un usuario que utiliza el producto y el que no [48, 49]. Esta diferencia no es deseable ni para el usuario ni para su familia, ya que el objetivo principal al utilizar tecnología es solventar dificultades que le presenta el TEA para desenvolverse en su vida cotidiana de forma inclusiva. El nivel de estigma social asociado al uso de un producto radica en su diseño y del tipo de interacción que exige. Incluso partiendo de la diferencia de que un individuo utilice el producto y otros no, dicha estigmatización puede ser llegar a ser muy reducida o inexistente, dependiendo de la forma, el uso y el nivel de presencia del producto.

Por ejemplo, si un individuo utiliza un *wearable* a modo de banda pectoral sobre la ropa, se trataría de un producto claramente visible, de tal manera que el individuo percibe de forma constante una diferenciación entre él y los demás. Sin embargo, si dicha banda se pudiese llevar en el interior de la chaqueta, o fuera una banda de tamaño más reducido, el estigma social se reduciría aunque siguiera siendo el único individuo que lo utilizase en su entorno.

Evidentemente, el estigma social se reduce al máximo cuando se trata de un producto software implementado en un dispositivo comercial, que utilizaría también el resto de individuos de su entorno, como *smartphones*, *tablets* y ordenadores [50]. En la literatura, el reto que supone la **aceptación** de un producto por parte de un colectivo como al que se dirige esta Tesis, se aborda desde la perspectiva opuesta, midiendo y reduciendo la **tasa de abandono** [51, 52, 53]. La tasa de abandono de un producto software es un tema que se aborda comúnmente desde el área de usabilidad. Los autores citados atribuyen tasas de abandono altas en productos para la asistencia de personas con diversidad funcional cognitiva a la baja adecuación de los estándares de usabilidad a este tipo de individuos.

2.5.2. El papel de los cuidadores y familiares

El déficit de autorregulación emocional en personas con TEA, al igual que en personas con diversidad funcional cognitiva en general, es el causante de ciertos patrones conductuales (e.g.: agresiones, autolesión, rabietas, actitudes desafiantes) que suponen dificultades para el entorno del individuo. En la literatura se cubren ampliamente diversas estrategias y planes de apoyo para ayudar a los familiares de estos individuos a sobrellevar el estrés que ocasionan estas dificultades [54, 55, 28]. Además, el incremento significativo de casos de TEA en las recientes décadas [19] evidencia la necesidad de más apoyo para las familias. Las dificultades que derivan de la conducta de estos individuos también se aplican a sus educadores y cuidadores. Esto es debido a que, aunque se trate de personal especializado en pedagogía, psiquiatría o educación especial, están limitados también por barreras de corte logístico, como los recursos económicos o de personal asignados para atender a estos individuos o el material de apoyo.

Al llevar a cabo estrategias de intervención para mitigar o solucionar algunas de estas dificultades, las tareas de mantenimiento, actualización y reemplazo del material de apoyo empleado mencionadas en secciones anteriores son responsabilidad de los educadores y familiares. Esto supone un estrés añadido para estas personas, que en ocasiones no cuentan con el nivel adecuado de manejo de tecnología, sobre todo en caso de los familiares.

El rol que desempeñan los cuidadores y familiares en las tareas de apoyo para la autorregulación emocional de individuos con TEA, por tanto, conlleva una serie de tareas que pueden ser facilitadas en gran medida haciendo que:


- La intervención diseñada para tal efecto sea más efectiva, de forma que las conductas del individuo a las que se aplican supongan menos dificultades.
- Reduciendo la tasa de abandono del producto con el que se lleve a cabo la intervención, de manera que las tareas de gestión y manejo de la tecnología no supongan un obstáculo para su uso a largo plazo.

Un método garantista de tasa de abandono baja y alta efectividad es el uso de tecnologías populares que no exijan un proceso de aprendizaje para el individuo ni su entorno. En esta Tesis, el posible estigma social, al igual que la familiaridad y simplicidad de uso serán los criterios a seguir para la selección de tecnología en la que implementar las intervenciones diseñadas.

2.6. Conclusiones

El déficit en la autorregulación emocional es una dificultad que deriva de la disfunción ejecutiva, típicamente presente en los individuos con TEA. Este déficit tiene como consecuencia conductas problemáticas para el usuario a corto plazo, como episodios de estrés, ira o rabietas descontroladas, y a largo plazo trastornos de ansiedad o depresión. Los mecanismos de autorregulación emocional forman una parte esencial de la actividad educativa en centros para personas con necesidades especiales. Las estrategias de intervención que se emplean para prevenir y mitigar las consecuencias de la dificultad para autorregularse emocionalmente emplean varios tipos de apoyos, materiales y métodos, que se describen en este capítulo de la Tesis. A pesar de que este repaso de las distintas metodologías de intervención está compartimentada en el plano formal, en la práctica estas estrategias se combinan, moldean y adaptan para satisfacer la necesidades individuales de cada individuo. Esta tarea no es trivial, y requiere la presencia de personal experto y materiales flexibles y adaptables. Estos materiales consisten tradicionalmente en fichas, manuales, pictogramas, señales y juegos. La naturaleza analógica de estos medios hace que obtenerlos, adaptarlos a las necesidades individuales y actualizarlos sea difícil y costoso. Por tanto, incluir tecnología en el proceso formativo y vital de estos usuarios es necesario para garantizar que se logren de manera práctica los objetivos que se plantean en el diseño de las estrategias teóricas de intervención.

Sin embargo, la implementación de soluciones tecnológicas para la intervención en el desarrollo de las habilidades de personas con TEA, al igual que ocurre con otros tipos de discapacidad cognitiva, está supeditada a las distintas sensibilidades del entorno del usuario. En otras palabras, incluir tecnología en las estrategias de intervención para los usuarios con TEA debe tener en cuenta posibles conflictos que puedan surgir entre su uso y el individuo, su proyección vital, las familias y los educadores, principalmente. En el siguiente capítulo se discute la interacción entre la persona con TEA y la tecnología, con el objetivo de esbozar unas pautas que garanticen que el diseño de la tecnología que se presenta en esta Tesis para asistir en la autorregulación emocional sea sensible a las necesidades que presentan estos individuos y su entorno. Dado que la discusión sobre la interacción entre persona y ordenador consiste en una disciplina por sí misma en la Ingeniería Informática, se abordará dicho estudio de forma comparativa, analizando qué elementos de dicha área son aplicables a nuestro caso y qué avances formales se pueden aplicar al diseño de nuestro sistema.



3 TEA y tecnología

Crecieron hasta un cierto punto, se dilataron sin romper su coherente elasticidad, sin deshacerse en ráfagas como los anillos de humo que van sufriendo hasta agotarse sus vetas de ágata azul

Rosa Chacel
Icada, Nevada, Diada (1982)

En este capítulo se exploran las posibilidades que ofrecen las tecnologías de la información para abordar las dificultades que tienen los individuos con TEA para la autorregulación emocional. Tomaremos como punto de partida la interacción persona-ordenador (IPO), ya que se trata del área de la Ingeniería Informática que estudia al usuario como sujeto central en un sistema. Para ello, se desarrollará una visión alternativa de la IPO apoyada en la literatura y que se refiere a las capacidades cognitivas de las personas con TEA. Esto aportará un enfoque intermedio entre el marco teórico que rodea a esta Tesis y la descripción técnica de las herramientas analizadas en el Estado del Arte, cuyas conclusiones cristalizarán en el sistema que se describe en capítulos sucesivos.

3.1. Interacción persona-ordenador

De forma literal, la **interacción persona-ordenador** hace referencia a cualquier acción que realiza un individuo en un sistema de información. Sin embargo, la interpretación común de este término se restringe al aspecto voluntario del mismo, es decir, las acciones que realiza un individuo de forma consciente en un sistema. De hecho, el estudio de las interacciones involuntarias del usuario ¹ no ha sido tan explorado en la literatura, a pesar de que en publicaciones tempranas del área ya se hacía referencia a esta idea: “(...) la capacidad computacional creciente de los nuevos dispositivos tecnológicos y la incorporación de sensores puede dar lugar a un enfoque nuevo en la interacción persona-ordenador más centrada en el canal implícito” [56].

Este cambio aún no parece haberse explorado de forma explícita en el marco teórico del IPO. Los estudios, protocolos y estándares IPO se enmarcan normalmente en aspectos relacionados con las interfaces, la navegación de los sistemas informáticos y la accesibilidad como ampliación de las interfaces tradicionales. Sin embargo, existe un conjunto creciente de áreas de investigación que aplican esta idea:

Tecnologías conscientes del contexto: área que abarca las tecnologías y protocolos desarrollados para ampliar el diálogo entre individuo y máquina de forma que se tengan en cuenta variables situacionales que puedan enriquecer la experiencia interactiva y sirvan de base para nuevos servicios [57]. Este “contexto” abarca una cantidad de información muy amplia que no sólo se restringe el contexto digital del sistema o al lugar donde se encuentra el usuario, sino que trata de comprender toda la realidad que rodea al diálogo persona-ordenador y que puede ser relevante para el objetivo operacional del sistema. Las tecnologías móviles cobran especial protagonismo en este área, ya que permiten registrar y adaptarse a los cambios que se producen en el contexto del usuario, sobre todo los referentes a ubicación y temporalidad.

Inteligencia ambiental: hace referencia a aquellas arquitecturas que integran en un mismo sistema los dispositivos cotidianos del entorno del usuario [58]. En Inteligencia Ambiental se trabaja tanto en la vía de producción de hardware como en la implementación de protocolos que permitan la interoperabilidad de dichos dispositivos. El *Internet of Things (IoT)* [59] se adscribe dentro de esta categoría, así como los sistemas *middleware* [60] que actúan como interfaces entre distintas arquitecturas de inteligencia ambiental que coexisten en un mismo entorno. Esta área se nutre frecuentemente de conocimientos derivados de Inteligencia Artificial, aplicaciones de sensores y Computación Ubicua. mientras que las tecnologías conscientes del contexto tratan de obtener información de él, la Inteligencia Ambiental propone modificar el propio contexto de forma que el conjunto de interac-

¹*Involuntario* aquí entendido como *inconsciente*, no como *en contra de su voluntad*

ciones persona-ordenador no se limite a una sola máquina sino a todo el entorno del usuario.

Tecnologías *wearables*: También estrechamente relacionados con el desarrollo de sensores y tecnologías móviles, los *wearables* son aquellos dispositivos que el usuario lleva en su cuerpo, bien integrados como un accesorio o prenda de ropa o simplemente adaptados a alguna parte de la anatomía [61]. La relación entre la computación con *wearables* y la interacción persona-ordenador implícita reside en la capacidad de sensado de estos dispositivos, que cuentan con *hardware* para obtener datos del entorno del usuario como la luminosidad, movimiento, pulso cardíaco, o temperatura. Como se puede observar, hemos incluido el pulso cardíaco, una señal fisiológica, dentro de las variables contextuales del usuario. Se hará referencia a esta idea en las secciones posteriores.

Estas áreas, de hecho, están estrechamente relacionadas, ya que sus ámbitos de publicación intersectan de forma frecuente. Se podría argumentar, por tanto, que un elemento que los une en el panorama científico es este aspecto implícito de la interacción persona-ordenador.

3.2. IPO y Tecnologías para la Asistencia

Las Tecnologías para la Asistencia de Personas con Diversidad Funcional Cognitiva [62] se nutren de los dispositivos, conceptos y metodologías que derivan de las áreas científicas descritas arriba. La razón principal de que esto ocurra es que la interacción persona-ordenador implícita en la que se basan estas disciplinas actúa en cierta manera como sustitutivo de las capacidades cognitivas en las que presentan dificultades individuos con Síndrome de Down, TEA, trastornos de déficit de atención, etc.

Esta propiedad de la interacción persona-ordenador, por otra parte, apunta a la verdadera naturaleza de la Ingeniería Informática, y la distingue del resto de ingenierías. Mientras que estas, de forma general, son disciplinas cuyo objeto de estudio es servir a las necesidades sociales y empresariales que necesitan de una capacidad **física** superior a la del ser humano, la Ingeniería Informática realiza una labor análoga con la capacidad **psíquica**. Es decir, mientras un ingeniero naval diseñará vehículos que permitirán superar nuestra capacidad limitada de nado, y la industrial diseñará dispositivos que superarán nuestra capacidad de manufactura, la Ingeniería Informática estudia e implementa sistemas de información que permiten calcular más rápido y almacenar más información de la que es capaz el cerebro humano. Se trata de una diferencia fundamental que también marca la asistencia proporcionada por los productos diseñados a tal efecto. Las soluciones de ingeniería no informáticas suplen los déficits **motores**

de personas con dificultades en este aspecto, mientras que las soluciones informáticas suplementan a usuarios con dificultades **cognitivas**.

En el caso particular de personas con TEA, el aspecto cognitivo más relevante a la hora de diseñar ayudas tecnológicas es la alexitimia (ver Capítulo 2). La interacción persona-ordenador implícita aplicada a la lectura de las emociones y sensaciones del usuario está estrechamente relacionada con otro campo de investigación muy prolífico en los últimos años: la computación afectiva [63]. El auge paralelo de las tecnologías *wearables*, cuyos avances han resultado en modelos comerciales que se han ido popularizando tanto entre el público general como entre los investigadores, ha favorecido que la computación afectiva tome protagonismo en el panorama del IPO en la última década [64].

3.3. Computación afectiva

La computación afectiva surgió a finales de los años 90 como respuesta a esa necesidad de los diseños de IPO de incorporar nueva información relevante para la interacción que el usuario en ocasiones no es capaz o simplemente no proporciona explícitamente. Las emociones, o las reacciones afectivas ² son elementos fundamentales en el diálogo entre el individuo y el sistema que está utilizando, por lo que este campo trata de detectarlas, describirlas y generarlas para que los sistemas de interacción sean más adaptables, flexibles y útiles.

Las emociones, por otra parte, son un aspecto fundamental del ser humano: determinan conductas, constituyen mecanismos básicos de supervivencia y estructuran, junto al lenguaje, la comunicación que nos define como seres sociales complejos. Es por esta naturaleza atávica de las emociones que sus usos en el campo de las ciencias de la computación conllevan retos particulares o, en el peor de los casos, provocan rechazo. La esfera emocional de las personas concierne, de forma intuitiva, al ámbito privado, y su lectura o aprovechamiento mediante tecnología vulneraría derechos básicos según esta idea. Sin embargo, el Artículo 12 de los Derechos Humanos, relativo a la privacidad, dice:

“Nadie será objeto de injerencias arbitrarias en su vida privada, su familia, su domicilio o su correspondencia, ni de ataques a su honra o a su reputación. Toda persona tiene derecho a la protección de la ley contra tales injerencias o ataques.”

²En realidad, el término *afectivo* es una traducción imprecisa del término *affective* en inglés. Sin embargo, su uso se ha extendido en ámbitos científicos de habla hispana.

3.3. COMPUTACIÓN AFECTIVA

Y el Artículo 17 del Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, recoge esa misma declaración en su texto.

Como se puede observar, no se hace referencia explícita a las emociones. Las implicaciones éticas de la computación afectiva son objeto de un debate que ha dado lugar a varios estudios, de entre los que se destacan los de Reynolds [65], Picard [66] y Abascal [67]. Este último, además, señala una particularidad de este tipo de tecnologías que atañen a esta tesis: los individuos cuya expresión emocional es susceptible de ser estudiada por estos medios, esto es, personas con TEA y otras necesidades especiales, son doblemente vulnerables a una infracción ética de su privacidad debido a sus dificultades para expresar consentimiento. Las emociones, generalmente incluidas en el ámbito de los datos personales del individuo, son cubiertas dentro del marco legal de cada nación. Esto hace que el criterio para valorar éticamente el estudio de las emociones de un individuo con medios tecnológicos sea divergente para cada contexto geopolítico.

En España, el tratamiento automatizado de las emociones de un individuo con TEA vendría a protegerse, por una parte, en la Ley Orgánica de Protección de Datos en los que respecta a usuarios con discapacidad (Artículo 5):

“[...] (el Reglamento) define los datos de carácter personal relacionados con la salud señalando como las informaciones concernientes a la salud pasada, presente y futura, física o mental, de un individuo. En particular, se consideran datos relacionados con la salud de las personas los referidos a su porcentaje de discapacidad y a su información genética”,

y les confiere el mismo tratamiento que a los datos de carácter clínico, permitiendo su uso mientras estos estén debidamente anonimizados; mientras que, en lo que concierne a las emociones, se utiliza el Reglamento descrito en la Directiva 95/46/CE, del Parlamento y del Consejo Europeo (Artículo 2):

“[...] se considerará identificable toda persona cuya identidad pueda determinarse, directa o indirectamente, en particular mediante un número de identificación o uno o varios elementos específicos, característicos de su identidad física, fisiológica, psíquica, económica, cultural o social”,

por lo que se aplica, de igual manera, el criterio de anonimización y agregación. A efectos prácticos, el criterio ético a la hora de manejar datos referentes a las emociones de personas con discapacidad cognitiva se simplifica en casos de acceso reducido

a dichos datos (i.e.: sistemas en los que un algoritmo recibe esos datos y produce un resultado que sólo percibe el usuario). Para otros planteamientos más problemáticos, se recurre a asesoría legal y se siguen los procedimientos comunes para obtener consentimiento de estos individuos ya sea a través de familia o tutores educativos.

La presencia de la computación afectiva en el panorama científico es relativamente reciente. Como ocurre con otras contribuciones a lo científico-tecnológico, ideas muy innovadoras que nutren las primeras implementaciones representativas del área (e.g.: prototipos de reconocedores faciales [68] que dicen si una expresión es de alegría, tristeza, etc.) pasan por fases que oscilan entre el escepticismo y la sobreexpectación (e.g.: ¿las expresiones faciales que indican emociones son universales? ¿puede existir una tecnología de reconocimiento gestual tan fina? [69]). Si estos fenómenos no son motivo de abandono, se espera, por evidencias basadas en el resto de tecnologías emergentes que han acabado popularizándose [70], que dicha tecnología pase a formar parte del corpus científico y sus métodos se apliquen en otros estudios. Este fenómeno se representa en la llamada “curva de Gartner” (ver Figura 3.1), que ubica cada tecnología en un punto concreto del proceso de popularización en un momento determinado. En el caso de la computación afectiva, en un principio no sólo tuvo que salvar los escollos éticos que describíamos anteriormente, sino que recibió una reacción escéptica por parte de la comunidad científica [64] que no fue superado hasta que la tecnología involucrada fuera más sólida y los postulados psicopsiquiátricos en los que se basaba estuviesen asentados. En cuanto a la tecnología a la que se hace referencia, destacan los wearables, que se abordarán en secciones posteriores.

Debido a la complejidad práctica de las emociones, esta área requiere de una intensa labor interdisciplinar con otros campos de conocimiento como la psicología y la neurología. Actualmente, la interpretación que se hace de la dimensión emocional del ser humano más aplicada a tecnología y diseño de software es la recogida en la Teoría de las Emociones [71]. En ella, se describen los estados emocionales como puntos en un eje bidimensional basado en dos factores cuantitativos de las emociones: la energía y la valencia [72] (ver Figura 3.2). La valencia se refiere a la connotación positiva o negativa de un ítem emocional, mientras que la energía hace referencia al estado de agitación y actividad. Por ejemplo, estar triste tiene una componente negativa de valencia, y un estado calmado o relajado tiene una componente positiva, mientras que la energía asociada a ambos estados es de tipo bajo. A pesar de que, en términos de psicología teórica, desglosar bidimensionalmente los estados emocionales de un individuo en dos componentes resulta sobresimplificado, a efectos de sistemas de sensores y el estudio de cómo se manifiestan las emociones en señales psicofisiológicas resulta práctico, como veremos a continuación.

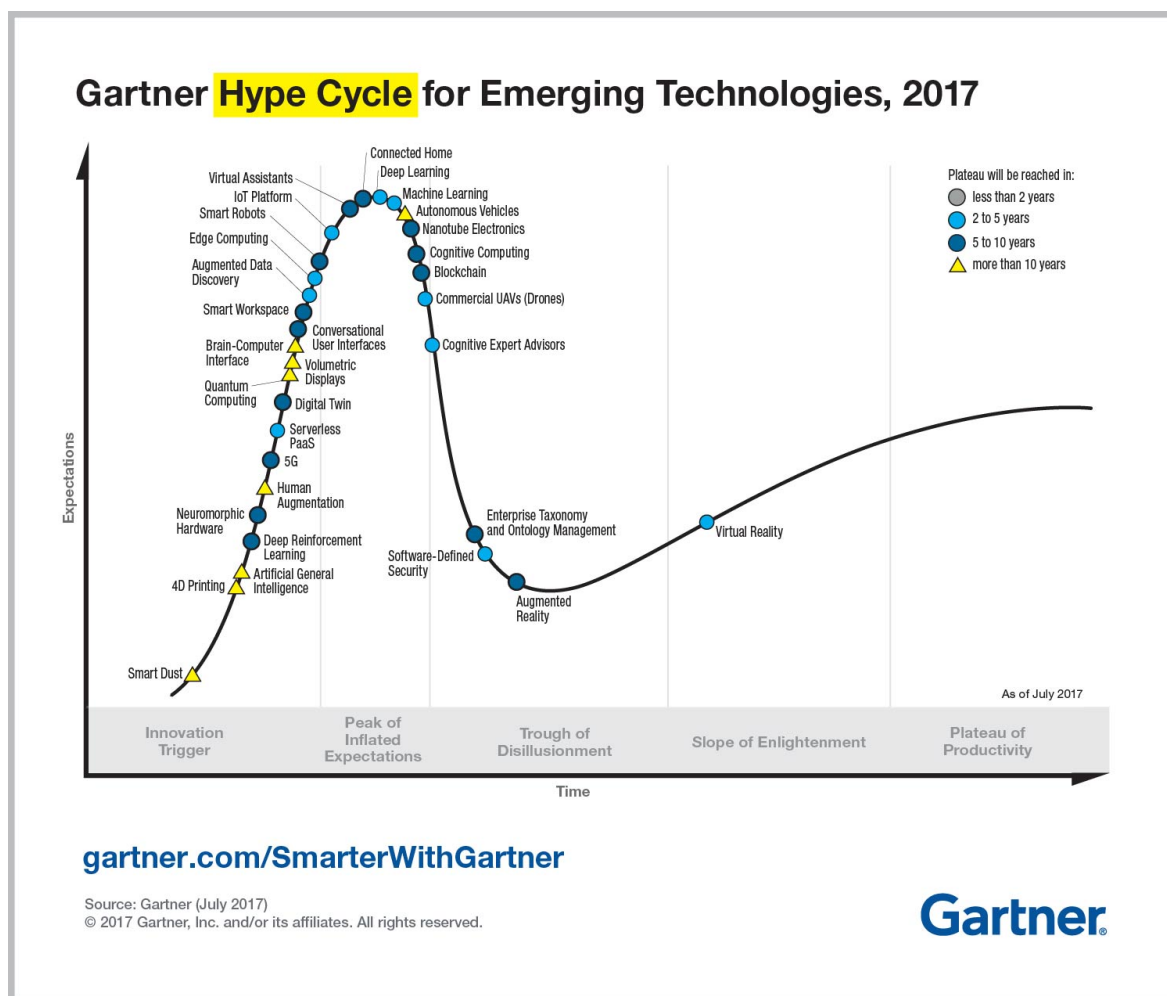


Figura 3.1. Ciclo de expectativas tecnológicas de Gartner (versión 2017)

3.4. Expresión psicofisiológica de las emociones

Los estados emocionales de un individuo se traducen en reacciones fisiológicas: sudor, respiración más intensa, aumento de las pulsaciones, dilatación de las pupilas, movimientos y tensiones musculares, etc [73].

En investigación, los dispositivos *wearables* resultan particularmente interesantes por su capacidad de inferir datos tanto del estado del usuario (**estado interno**) como del contexto del mismo (**estado externo**), según los sensores que integren el dispositivo. Con datos suficientes de ambos tipos, el dispositivo puede trabajar sobre un concepto preciso acerca de la situación específica del usuario. El estado externo se refiere a todas las señales recogidas por el dispositivo que provienen del exterior del

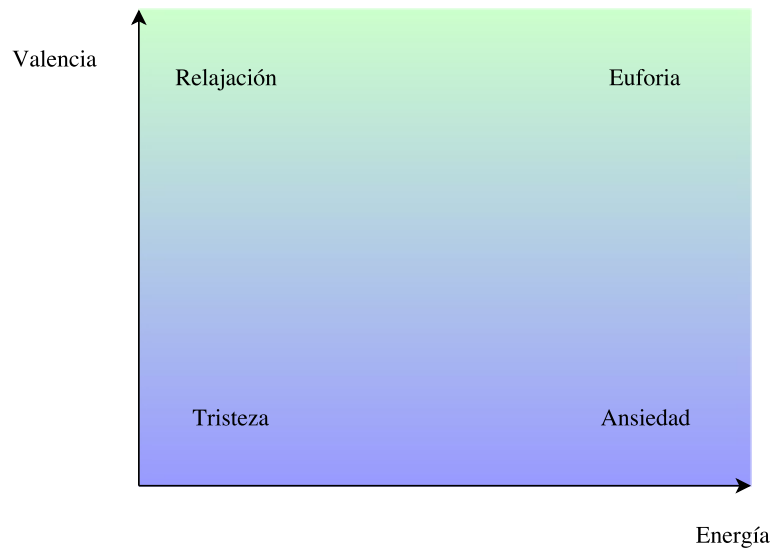


Figura 3.2. Enfoque bidimensional energía-valencia de las emociones

usuario: temperatura, humedad, sonidos, movimientos, señales, etc. El estado externo abarca las señales para las que se han fabricado sensores tradicionalmente. Sin embargo, en el ámbito clínico es más frecuente encontrar tecnología aplicada a detectar el estado interno del usuario [74, 75]. Por tanto, tratar este segundo tipo de señales en el ámbito de la IPO no sólo es reciente sino que requiere rediseñar la tecnología implicada y crear paradigmas nuevos de interacción adecuados para este propósito [76]. Así, los dispositivos *wearables* se convierten en la tecnología más representativa de detección del estado interno del usuario aplicada a IPO, ya que es la más utilizada en computación aplicada al ámbito clínico [77], adaptando sus paradigmas de interacción a las necesidades de dicha área y a terapias novedosas, así como estudiando el desarrollo de dispositivos adecuados para tratamientos específicos y la vida diaria de los pacientes [78, 79].

El estado interno del usuario no sólo se refiere a las señales fisiológicas (aunque sí es la mayor fuente de información), sino a otras medidas que aportan información sobre el mismo: reconocimiento de actividades [80] a partir de los movimientos del usuario, pasos, postura y localización [81], expresión facial [82], gestos [83], relación en el tiempo y el espacio entre ellas, registro de hábitos por parte del usuario [84, 85], y reconocimiento de patrones a partir de combinaciones de las anteriores [86]. Es preciso puntualizar que el estado interno del usuario, al igual que el externo, no es, simplemente, una lista de señales relevantes, las cuales no son más que descriptores concretos, sino a abstracciones del estado del usuario en cierto momento, las cuales se describen y parametrizan mediante estas señales. Por ejemplo, el estado interno “estrés” consiste en un conjunto formado por un pulso cardíaco y tasa respiratoria elevada, ciertas expresiones faciales y el aumento del movimiento de extremidades superiores

e inferiores; es decir, la abstracción que conocemos como “estrés” es un conjunto de parámetros medibles en un determinado momento utilizando tecnología *wearable*.

3.4.1. Wearables y el Estado Interno del usuario

Esta parametrización del estado interno del usuario que acabamos de describir nos devuelve al concepto de *interacción implícita* que tratábamos en secciones anteriores: los usuarios no pulsan botones, navegan por interfaces ni piensan en la tecnología cuando cambian su estado interno; sin embargo, los efectos fisiológicos, ergonómicos y circunstanciales de este cambio son los que son susceptibles de servir como *input* de un sistema *wearable* que procese esta información con algún propósito [87]. El objetivo puede ser, por ejemplo, ayudar al usuario a gestionar dicho cambio, o bien llevar un registro de dichos estados para realizar un análisis posteriormente. No todos los sistemas basados en *wearables* sirven a este propósito: ni siquiera todos los sistemas basados en *wearables* y centrados en usuarios con diversidad funcional cognitiva. Por ejemplo, el sistema propuesto por Kearns et al. [88] es un organizador y gestor de alarmas para tareas de la vida cotidiana de personas con discapacidad cognitiva, y sólo necesita datos sobre fechas, horas y algo de interacción explícita: toda la información de entrada al sistema es externa al usuario (incluso las tareas y alarmas se pueden gestionar de forma remota por un cuidador o familiar). SPARK, el sistema desarrollado por Sharma et al. [89], también es un gestor de alarmas, en este caso para que pacientes con Parkinson recuerden su medicación. De nuevo, el estado interno no se ve involucrado. Por otra parte, sí se utiliza información del estado interno en las propuestas de Wile [90] y Shin [91], para monitorizar a usuarios con Parkinson y demencia senil, respectivamente. El estado interno también ha sido utilizado para la detección de hábitos [92] y reconocimiento de reacciones que se producen en la ejecución de actividades concretas [93].

Los *wearables*, dada su naturaleza, son dispositivos más orientados a la sensorización del estado del usuario, de ahí la necesidad de llevarlos consigo y la capacidad baja de interacción explícita y navegación. Gran parte de su funcionalidad está orientada a detectar patrones en las señales y los eventos que se detectan en el entorno del cuerpo del usuario, o de la zona de la misma en la que se ubica el dispositivo. Sin embargo, como se mencionó en apartados anteriores, en la literatura se tiende más a explorar el canal explícito de la interacción [94], mientras que la interacción implícita que se realiza con *wearables* y otros dispositivos es un área de investigación de exploración más reciente, interseccionando ocasionalmente con la computación afectiva [95] y reconocimiento de actividad [96].

Aunque centrados, en su mayoría, en el aspecto hardware de la sensorización, existen muchos trabajos sobre la inferencia de estados del usuario con wearables. En el capítulo

sobre Estado del Arte (ver Capítulo 4) se describen los trabajos más representativos al respecto, clasificados por objeto de estudio: detección de emociones, monitorización, diagnóstico, etc.

3.5. Smartwatches

La interacción implícita es un mecanismo interesante a la hora de diseñar un sistema que tenga en cuenta la disfunción ejecutiva de personas con TEA (ver Capítulo 2). Dicho de otro modo, la interacción explícita de un individuo con TEA y un sistema de información implica utilizar habilidades enmarcadas dentro del ámbito de la función ejecutiva de la mente; por tanto, una propuesta teórica que forma parte de la hipótesis de esta Tesis consiste en utilizar la información que proviene de la interacción implícita del usuario con el sistema –a través de los canales fisiológicos y motores– para obtener una información que sería muy difícil obtener de un individuo con TEA de forma autoconsciente.

A la hora de seleccionar la tecnología con la que va a interactuar el usuario para dar respuesta a cierta necesidad, es importante tener en cuenta que ésta debe tener asociada una tasa de aceptación alta (ver Subsección 2.5.1 del Capítulo 2). En el caso de esta Tesis, abordamos la necesidad de autorregulación emocional de estos individuos, lo que acentúa la importancia de emplear tecnología con un riesgo bajo de abandono y poca intrusividad debido a que los dispositivos empleados deberán utilizarse o ser llevados por la persona a lo largo de todo el día. Dentro de los dispositivos *wearables*, esta selección no es trivial. La mayor parte de las propuestas para personas con diversidad funcional cognitiva halladas en la literatura construyen sus sistemas para dispositivos diseñados *ad hoc*. A modo de ejemplo, Witt [87] utiliza un guante inteligente para el estudio de la interacción implícita, Shuzo [86] analiza los hábitos alimenticios de ciertos usuarios a través de un sistema auricular, y Kearns [88] emplea un *smartwatch* no comercial integrado en un entorno inteligente para la monitorización doméstica. Estos dispositivos resultan problemáticos en cuanto a aceptación por la diferenciación que suponen para el individuo cuando los lleva puestos o los utiliza. En ocasiones, las desventajas en cuanto a aceptación de un dispositivo radican en lo intrusivo que resulta para el individuo: los guantes inteligentes de Witt no están pensados para climas cálidos, el sistema auricular de Shuzo impide al usuario utilizar el resto de auriculares para escuchar música, y el sistema de Kearns depende en exceso del tipo de residencia del individuo. También existen otras causas de estigmatización y diferenciación: Lee propone el uso de un cinturón inteligente [81] para detectar actividades del usuario en su vida diaria y llevar un registro que se analiza posteriormente. Este dispositivo no es demasiado intrusivo y el material parece versátil y ligero, se trata de una prenda de ropa pequeña a la que se le añade circuitería y sensores; sin embargo, el cinturón es

visiblemente distinto del que llevaría cualquier otra persona. Esta diferencia es crucial en cuanto a aceptación, y determinaría que el producto es inviable si se desea uso prolongado y con un pronóstico favorable de inserción en el ámbito diario del individuo [8].

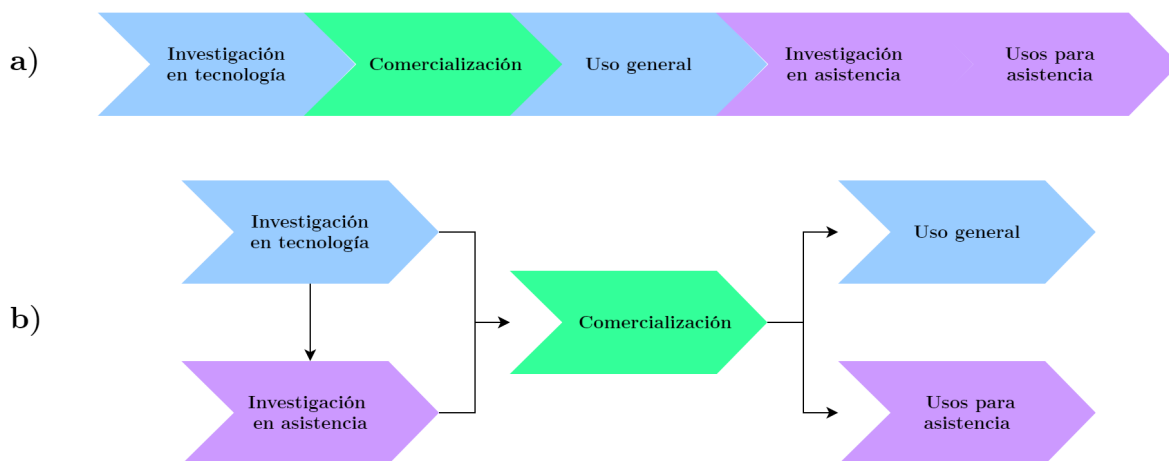


Figura 3.3. Difusión tecnológica generalista frente a la relacionada con la asistencia

Actualmente, el diseño de tecnologías para la asistencia de personas con diversidad funcional cognitiva –y de otros tipos de diversidad– está supeditada a la de productos diseñados para el público general. En el mejor de los casos, tras un diseño comercial de un dispositivo tiene lugar su comercialización y popularización, y no es hasta entonces, hasta que la tecnología es acogida en el ámbito generalista, que se realizan trabajos de investigación que estudian la aplicación de dichos recursos a casos minoritarios como el del objeto de esta Tesis (ver diagrama **a)** de la Figura 3.3). Lancioni [97] argumenta que la adaptación de tecnología comercial a casos de diversidad funcional cuando aún está en fase de diseño podría repercutir positivamente en las tasas de abandono a la hora de insertarla socialmente en dichos colectivos (ver diagrama **b)** de la Figura 3.3). En el ámbito de esta Tesis, la tecnología correspondiente vendrían a ser los dispositivos *wearables* comerciales, como ejemplo de tecnología aún emergente en términos de inclusión y aceptación.

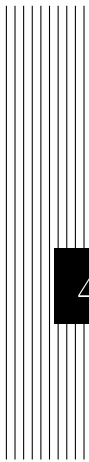
Bajo dicha premisa, los *smartwatches*, esto es, los relojes inteligentes que empiezan a popularizarse en el mercado, parecen tener el potencial inclusivo adecuado para centrar el enfoque científico en ellos [98]. Además, siguiendo la argumentación desarrollada hasta ahora, los *smartwatches* no suponen estigmatización ni diferenciación a priori: en un contexto social en el que la persona neurotípica lleva un *smartwatch*, cualquier persona con diversidad funcional que utilice uno no supone una diferencia perceptible. Las diferencias, si acaso, son a nivel *software*, cuya interacción ya pertenece al ámbito semiprivado: las aplicaciones, configuraciones y archivos que cada individuo posee no marcan diferencias sociales de carácter inmediato como ocurre con el hardware cuan-

do éste es vistoso o llamativo. Además, no se trata de un dispositivo completamente popularizado [99], por lo que, según el argumento de Lancioni, éste es el momento adecuado para estudiar sus posibles usos en el ámbito de la inclusión de personas con necesidades especiales; sin embargo, se trata de un desempeño de interés puramente científico: ateniendo únicamente a intereses de mercado, realizar esta labor conlleva un riesgo –el de que los *smartwatches* no se popularicen como se espera– que catalogaría este trabajo añadido al diseño, propuesto por Lancioni, como inviable.

3.6. Conclusiones

En este Capítulo se han analizado diversos aspectos de carácter interdisciplinar entre las áreas de la psicopedagogía relativa a los individuos con TEA y la ingeniería informática. El objetivo de este análisis es delinear los puntos principales a tener en cuenta para el diseño de un sistema para la asistencia en la autorregulación emocional de personas con TEA con una base teórica que garantice, a partir de estudios científicos recientes de ambas áreas, que la tasa de abandono sea baja y la aplicación sea sensible al contexto del usuario. Este análisis, por tanto, salva la distancia entre áreas de conocimiento inherente a cualquier investigación de carácter multidisciplinar, y nos permite enlazar los hallazgos científicos sobre intervención para TEA y las tecnologías emergentes adecuadas para esta propuesta (en este caso, los *smartwatches*). Además, se describen conceptos relativos a las tecnologías implicadas en el sistema que se propondrá en capítulos sucesivos, como la Computación Afectiva, la Computación Ubicua, las tecnologías *wearables* y la interacción persona-ordenador. Por último, se exponen las razones por las que los *smartwatches comerciales* son la tecnología escogida para el sistema y se discute la ubicación del diseño de tecnologías para la asistencia respecto de las generalistas.

En este Capítulo también se han mencionado diversos sistemas o propuestas de otros autores para ejemplificar ideas del análisis realizado. No obstante, con el objetivo de ubicar la contribución de la Tesis en la literatura del área, se incluye a continuación un Capítulo sobre el Estado del Arte, previo a la descripción del sistema propuesto y su evaluación.



4 Estado del Arte

Nunca pudo verse una multitud más alegre y bulliciosa, con aquellos tintes de añil y de fresa que parecían tremolar al mismo ritmo de las banderas, en la mañana límpida y soleada

Alejo Carpentier
El siglo de las luces (1962)

En esta Tesis se propone un sistema basado en *smartwatch* y *smartphone* para asistir a personas con TEA en la adquisición de habilidades de autorregulación emocional. Como se concluirá más adelante, no se han encontrado trabajos en la literatura con estos objetivos utilizando dichos medios. Por tanto, la contribución de esta Tesis no se describe en términos de comparación con otros sistemas semejantes desde una perspectiva holística, sino que se abordarán, por separado, los antecedentes de aquellos elementos que componen la propuesta de sistema (ver Figura 4.1), esto es:

- Tecnologías para la asistencia
 - Tecnologías *wearables*
 - *Smartwatches*
 - Otros *wearables*
 - Tecnologías móviles
 - Aplicaciones de asistencia

- Herramientas de autor
- Aplicaciones de computación afectiva
- Estrategias de intervención para la autorregulación emocional

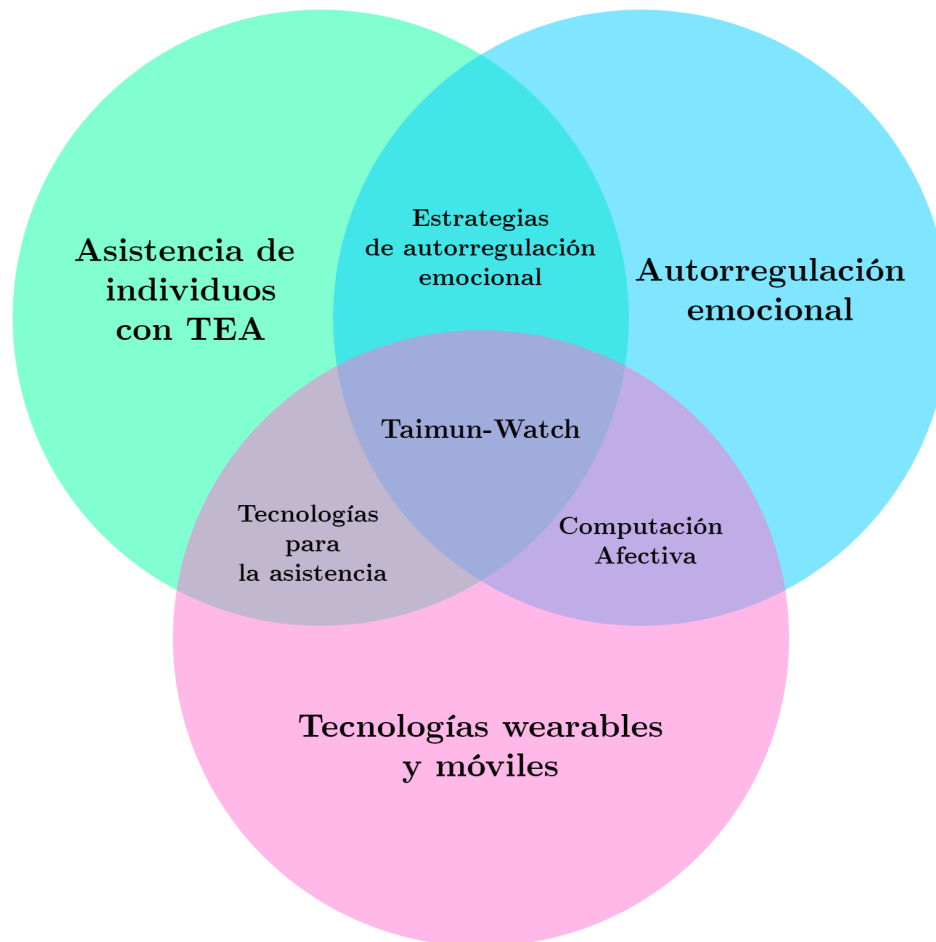


Figura 4.1. Representación gráfica del Estado del Arte en torno a Taimun-Watch

En este Capítulo se mencionarán los trabajos extraídos de la literatura que sean más representativos de cada uno de los temas listados anteriormente.

4.1. Tecnologías para la asistencia

El estudio de LoPresti [100] muestra cómo el número de estudios sobre tecnologías para la asistencia aumentó a partir de la aparición de nuevos dispositivos como *smartphones* y *tablets* en el público general. El estudio, del año 2004, auguraba una extensa

trayectoria para las tecnologías con este propósito, lo que luego vendría a confirmar [62] 10 años después, en una revisión sistemática del subtipo de tecnologías que atañen a esta Tesis, esto es, las Tecnologías para la Asistencia Cognitiva (TAC). Estas tecnologías engloban al conjunto de dispositivos, aplicaciones y sistemas que tienen por objetivo proporcionar asistencia para reducir las dificultades derivadas de la discapacidad cognitiva. En dicho estudio se realiza una clasificación de las “funciones tecnológicas” (FT) que suelen empeñar los sistemas basados en TAC para cumplir su objetivo, a saber:

- Alertas
- Distractores
- Micro-instrucciones
- Guías interactivas
- Recordadores
- Almacenamiento y visualización
- Híbridos

Por otra parte, expone la clasificación de “funciones cognitivas” de la ICF (*International Classification of Function*), que son los distintos compartimentos en los que se divide la dimensión cognitiva de un individuo. Las funciones cognitivas principales son:

- Atención
- Cálculo
- Emociones
- Autoconsciencia
- Abstracción
- Memoria
- Funciones motoras, de lenguaje y percepción

El objetivo de esta revisión sistemática fue asociar cada función cognitiva a la función tecnológica más utilizada en la literatura (y con resultados positivos) para proporcionar asistencia. Así, obtenemos que las tres funciones cognitivas más relacionadas

con la autorregulación emocional, esto es, la función de las emociones y la autoconsciencia y la abstracción (como sinónimo de la función ejecutiva que se discutía en el Capítulo 2), se abordan desde la literatura con propuestas tecnológicas basadas en distractores, las guías interactivas y las micro-instrucciones, respectivamente. Extendiendo el argumento de este autor, por tanto, una propuesta tecnológica que pretenda servir como solución o ayuda para el problema de la autorregulación emocional, debe cumplir estos aspectos. En el Capítulo 5 nos volveremos a referir a este estudio para esbozar los requisitos del sistema que proponemos en esta Tesis.

En las siguientes subsecciones haremos un repaso de las propuestas tecnológicas con *wearables* más relevantes para la asistencia cognitiva. Abordaremos en primer lugar aquellas implementadas en *smartwatch*, por ser más relevantes para esta Tesis. Tras la revisión de proyectos en *wearables*, veremos algunos ejemplos de tecnologías para la asistencia desarrolladas para otros dispositivos móviles como los *smartphones* y las *tablets*, cuya naturaleza ubicua en el panorama actual también sirve de plataforma para desarrollar aplicaciones de asistencia aplicables a varios contextos diferentes del usuario.

4.1.1. Tecnologías *wearables*

El uso de *wearables* se ha popularizado ampliamente en el mundo clínico, ya que permite aplicar la tecnología al individuo y obtener datos biométricos que se utilizan con fines terapéuticos, de diagnóstico o rehabilitación [101]. Sin embargo, en el entorno psicopedagógico, el uso de *wearables* no se ha extendido con tanta profusión. A continuación revisaremos los principales trabajos que utilizan estos dispositivos para proporcionar asistencia cognitiva, separando los implementados en *smartwatch*, por las razones expuestas en el Capítulo 3, de los implementados en otros *wearables*.

4.1.1.1. *Smartwatches*

No existen estudios previos en la literatura acerca del uso de *smartwatches* para la asistencia específica de personas con TEA. Sin embargo, algunos trabajos sí tiene como objetivo la asistencia de individuos con discapacidad cognitiva en general:

WearSense y FOQUS

El trabajo de Amiri [102], llamado WearSense, aplica estos dispositivos para detectar comportamientos estereotípicos (movimientos repetitivos como el aleteo y el palmeo)

a modo de propuesta técnica, pero no es un sistema interactivo ni ofrece retroalimentación o asistencia. Sin embargo, sí existen precedentes en la visión y el uso de estos dispositivos con el objetivo de asistir a individuos con dificultades cognitivas. Dibia et al. [103] plantea el potencial de los *smartwatches* para la integración laboral de personas con discapacidad cognitiva. Además, de una manera análoga al análisis que se realiza en el Capítulo 3, estudia el impacto del dispositivo en el contexto del individuo, y estudia las preocupaciones de las familias a través de entrevistas. Concluye identificando tres aplicaciones potenciales de los *smartwatches* en términos de asistencia: soporte para la salud, apoyo a la labor de los familiares y mejora de la productividad en entornos laborales.

WeLi

Es un prototipo de Zheng *et al.* [104] que combina *smartphone* y *smartwatch*, diseñado para asistir a personas con discapacidad cognitiva y trastornos del desarrollo en su entorno educativo, y centrado en el soporte para facilitar la planificación y la comunicación entre los estudiantes y los educadores. implementa estrategias de intervención, autorregulación y alarmas. No se ha estudiado su eficacia, pero sí el impacto de la herramienta en el entorno de la aplicación. Las encuestas evidencian que los usuarios muestran entusiasmo. Es la propuesta que más se acerca al sistema que se describe en esta Tesis, pero su ámbito de aplicación es más restringido (el educativo, únicamente) y el objetivo es más amplio (intervención general para trastornos del desarrollo). Por otra parte, el módulo de autorregulación emocional se apoya exclusivamente en una técnica de "zonas de regulación" de Kuypers [105] que se basa en cierta capacidad del individuo para identificar cómo se encuentra. En este punto se evidencia que el estudio está dirigido a un perfil genérico de discapacidad cognitiva, ya que el individuo con TEA presentaría fuertes dificultades para discernir en qué zona de regulación se ubica su estado de ánimo.

UbiWatch

El usuario objetivo del sistema propuesto por Kearns *et al.* [88] es la tercera edad, debido a los problemas asociados de pérdida de memoria a corto plazo y dificultad para la secuenciación y planificación de tareas, que se derivan de la demencia senil precoz y el daño cerebral adquirido. El dispositivo que proponen se limita al funcionamiento dentro de un ámbito de uso concreto, la sección de Veteranos de Guerra del hospital de Tampa (Florida). En este centro se encuentra instalado un sistema de *Smart Home* o casa inteligente que permite la planificación y dispensación automática de medicamentos, acceso automático al recinto y guiado en las sesiones terapéuticas a partir de pantallas interactivas ubicadas en las paredes. El dispositivo que propone es un reloj que se integra en este sistema y permite conocer la ubicación y guiar al usuario a los distintos

lugares del centro. No se trata de un dispositivo comercial, sino uno diseñado por los propios investigadores para servir al propósito específico de ese entorno inteligente. Debido a que este tipo de usuarios suele tener problemas para percibir las notificaciones, se han incluido mecanismos de vibración, audio y un sistema visual de colores que indica la urgencia o importancia de cada mensaje. En cuanto a la ubicación, se emplea una tecnología de “ultra-ancha de banda” (UWB), de alto coste pero mucha precisión, para poder localizar a los usuarios a través del posicionamiento GPS. Para evitar grandes gastos de batería, no se incluyen más opciones de interacción o navegación que las ya descritas. Los resultados de emplear este sistema con los pacientes del centro fue muy satisfactoria, pero los autores comentan que este uso exitoso depende en gran medida del hecho de que el sistema haya sido específicamente diseñado para este entorno, y que no es adaptable ni escalable a otros ámbitos por el momento.

En líneas generales, los sistemas propuestos con una intención científica de este tipo no son numerosos, ya que el nicho de los *smartwatches* aún está formándose [99]. Además, como se explicaba en el Capítulo 3, los dispositivos con una proyección comercial como este no suelen adaptarse a casos de discapacidad hasta que están bien asentados en el público general, lo cual está por ocurrir con los *smartwatches* [98]. Por otra parte, los dispositivos *wearables* creados *ad hoc* tienen una presencia mucho mayor en la literatura, ya que permite implementar directamente un dispositivo con la capacidad y sensores específicos para cumplir los requisitos propios, sin la necesidad de adaptar tecnología preexistente. Sin embargo, en el Capítulo 3 argumentamos las razones por las que esta decisión aumenta peligrosamente la tasa de abandono de un sistema. A continuación se describen las propuestas más relevantes.

4.1.1.2. Otros *wearables*

Como se explicaba anteriormente, la creación de *wearables* específicos garantiza cierto nivel de eficacia en el uso del sistema, ya que se pueden incluir los sensores necesarios e implementar la funcionalidad requerida para cumplir los objetivos que se planteen. Por otra parte, carecen de la aceptación y la facilidad de instalación, actualización, mantenimiento, adaptación y flexibilidad de un dispositivo comercial (ver Capítulo 3). En el mundo clínico son muy utilizados [101], donde las implicaciones sociales del uso de un dispositivo son menos relevantes en el caso de que se utilicen en centros como hospitales y ambulatorios.

Ratón inercial

Raya *et al.* [106] presentan un sistema *wearable* a modo de ratón inercial (es decir, su movimiento se acelera a partir de movimientos pequeños que realiza el usuario con la cabeza) para suplir las dificultades interactivas de estilo motor en personas con disca-

pacidad cognitiva. En el trabajo se argumenta también la necesidad de tener en cuenta las dificultades motoras que suelen estar presentes en las personas con discapacidad cognitiva, ya que, tradicionalmente, se suelen abordar por separado. La importancia de hacerlo así radica en la alta tasa de abandono que se produce en un dispositivo de asistencia cognitiva cuando es inaccesible físicamente para los usuarios (e.g.: el teclado es muy complejo, el ratón requiere un manejo fino, el sistema muestra información textual, etc.). Los autores muestran resultados exitosos de acuerdo a los estándares ISO. Este trabajo no ejemplifica un método de intervención asistido por tecnología, sino un apoyo *wearable* a modo de periférico adaptado para hacer accesibles para estos individuos otras tecnologías como el ordenador de sobremesa.

FitBit

El trabajo de Naslund *et al.* [107] consiste en un estudio con individuos con esquizofrenia y trastornos anímicos con el objetivo de perder peso utilizando monitorización con pulseras Fitbit. Este trabajo se centra en la aceptación que tienen los dispositivos en el experimento y en la vida diaria de los usuarios a lo largo de todo el estudio (6 meses). Además de las pulseras, se les proporcionaba un *smartphone* con el que podían observar los resultados de la monitorización. Tras el experimento se recogieron datos sobre la usabilidad y la satisfacción general en la experiencia, así como sugerencias de los participantes a través de entrevistas exhaustivas. Los resultados de las primeras impresiones respecto al dispositivo *wearable* fueron satisfactorios pero encontraron dificultades para utilizar el teléfono y entender la retroalimentación que se les proporcionaba con él. Los comentarios más recurrentes respecto al *wearable* hacían referencia a la necesidad de utilizar dispositivos comerciales para recibir este tipo de asistencia, ya que de esta manera los recursos eran más accesibles para individuos en grupos de riesgo como estos. Este trabajo sirve como argumento adicional que apoya la idea expuesta en el Capítulo 3 acerca de la preferencia por dispositivos comerciales.

WAES

A pesar de que las *Google Glass* son dispositivos cuyo origen fue de intención comercial, su difusión actual se encuentra restringida a ámbitos corporativos, por lo que esta propuesta de Hayes *et al.* [108] la ubicamos dentro de los *wearables* de propósito o diseño no genérico. Hayes presenta un sistema dirigido a individuos con TEA para ayudar al portador a interpretar situaciones sociales. Utilizando la API de accesibilidad del dispositivo, detectan el volumen de los interlocutores, así como realizan un procesamiento ligero del lenguaje natural para extraer conclusiones en tiempo real de la prosodia de los mismos. Aunque discuten los beneficios de utilizar este dispositivo frente a uno equivalente en el teléfono móvil (que, al fin y al cabo, el usuario tendría que estar mirando, y eso perjudicaría a la calidad de la interacción social), no se men-

cionan los posibles efectos negativos de estigmatización que podría acarrear el uso de un dispositivo tan llamativo. Sin embargo, estos dispositivos causan un fuerte rechazo en el entorno del usuario con discapacidad, porque marcan una diferencia llamativa en él (las Google Glass se diferencian claramente de unas gafas estándar, y su uso no se ha extendido en la sociedad).

Gabriel

Se trata de otro sistema basado en *Google Glass*, diseñado por Ha *et al.* [109]. Está dirigido a usuarios con discapacidad cognitiva, con el objetivo de estudiar el dispositivo como un medio para capturar imágenes del entorno en primera persona y representar en tiempo real información consciente del contexto que resultaría útil para que el usuario adquiriera un mayor grado de autonomía. En realidad, *Gabriel* es una propuesta de viabilidad para una arquitectura basado en este dispositivo, por lo que se centra en el estudio de aspectos técnicos y no discute las implicaciones sociales de utilizar este dispositivo. Concluyen que las *Google Glasses* tienen la potencia necesaria para procesar y mostrar al usuario la información que, de otra manera, se le debería proporcionar en papel o con indicaciones de otra persona, pero estaría limitado por la duración de la batería. A pesar de la apreciación de las bondades técnicas de este dispositivo (que podrían ser muy convenientes si el dispositivo se popularizase), en lo que concierne a esta Tesis se mantienen las objeciones expuestas en el estudio anterior relativas a la estigmatización.

SenseCam

Marcu *et al.* [110] utilizan una cámara adaptada a modo de dispositivo *wearable* en el cuello del usuario para recoger datos visuales que sirvan al personal experto y clínico en el análisis de la conducta de individuos con TEA. El dispositivo se evaluó mediante un experimento en un contexto real comparando las ventajas e inconvenientes de utilizar una cámara de un teléfono móvil frente a la SenseCam diseñada por ellos. El objetivo de este sistema es el ámbito familiar, ya que con esta propuesta también pretenden integrar en mayor medida a la familia del individuo en su vida diaria, de forma que puedan analizar lo que ve su hijo y detectar posibles estímulos perjudiciales que le provocasen trastornos de la conducta en determinados casos. Se trata de una necesidad que adquiere gran relevancia cuando se trata de individuos con falta de capacidad comunicativa. Este estudio aporta ideas relevantes para esta Tesis respecto a la inclusión de tecnología en el entorno familiar, ya que gran parte de la satisfacción que mostraron los involucrados en el experimento provenía del hecho de que el dispositivo utilizado era discreto y nada intrusivo.

4.1.2. Tecnologías móviles

4.1.2.1. Aplicaciones móviles para la asistencia

HANDS

Se trata de un conjunto de aplicaciones móviles para *smartphones* diseñadas por Mintz [111] para adquirir habilidades útiles para la comunicación y las actividades de la vida diaria. Las aplicaciones proporcionan funcionalidad para implementar secuencias de pasos, avisos visuales y guías interactivas para desenvolverse en escenarios sociales. También permiten a los educadores editar el contenido, y este se sincroniza con los *smartphones* de los usuarios. Está evaluada en cuatro centros distintos de educación especial, y los autores recopilaron información sobre la satisfacción que generó el uso de las *apps* en familiares, educadores, auxiliares y los propios usuarios; además, se les incluyó en el proceso de diseño mediante sesiones de *focus group*. El objetivo del estudio era comprobar que los *smartphones* no generaban rechazo sino que servían como plataforma sólida y bien aceptada mediante la que proporcionar asistencia de forma más económica y eficaz.

Juegos formativos

Los juegos formativos o *serious games*, en inglés, son aquellas actividades interactivas entre dos o más usuarios bajo un conjunto de reglas y un objetivo con un propósito no lúdico. Las simulaciones de vuelo para pilotos en formación o de gestión de transportes son ejemplos de juegos formativos. De Urturi *et al.* [112] presentan una plataforma multimedia en *tablets* y *smartphones* que contiene actividades de este tipo. El objetivo de la formación de estos juegos es la enseñanza de primeros auxilios para individuos con TEA de alto funcionamiento. En el estudio inciden en cómo el uso de una tecnología comercial y popularizada (en este caso, dispositivos *Android*) puede ayudar a la aceptación de la herramienta, así como incluir a educadores y expertos en el proceso. En el caso particular de los individuos con TEA, también señalan posibles participaciones de los mismos en el proceso de diseño, como la prueba de maquetas y las entrevistas adaptadas.

AssisT

Este sistema integral de ayuda diseñado, desarrollado y evaluado por Gomez *et al.* consta de tres módulos, que a su vez son herramientas de asistencia para las tareas de la vida cotidiana [13], el guiado en interiores [14] y exteriores [15], respectivamente. Las

tres son aplicaciones en *smartphone* destinadas a individuos con discapacidad cognitiva. Estas tres herramientas proponen alternativas tecnológicas para mejorar el coste y la calidad de la asistencia proporcionada a estos usuarios en centros de educación especial y el contexto familiar. Las evaluaciones realizadas demuestran, además, cómo la tasa de aprendizaje del usuario es mayor cuando las utiliza frente a cuando usa los materiales tradicionales.

MOSOCO

Se trata de un aplicación móvil propuesta por Escobedo *et al.* [113] cuya finalidad es asistir a individuos con TEA a practicar habilidades sociales en situaciones reales a través de realidad aumentada y apoyos visuales. El sistema se evaluó a lo largo de 7 semanas en un entorno escolar real en Carolina del Sur al que acudían tanto estudiantes con TEA como neurotípicos. Los resultados mostraron una mejora cuantitativa y cualitativa en la práctica de estas habilidades, así como una reducción de conductas perjudiciales en el aspecto emocional y social. Los autores concluyen discutiendo el gran potencial que tienen las tecnologías emergentes (realidad aumentada) implementadas en dispositivos comerciales o populares *smartphones* para practicar habilidades fundamentales del usuario con discapacidad cognitiva en entornos reales.

4.1.2.2. Herramientas de autor

El uso de ordenadores y *tablets* en entornos educativos es frecuente [79]. Sin embargo, los sistemas y aplicaciones que se emplean son, en muchos casos, heredados de los sistemas genéricos que no están adaptados para asistencia cognitiva: el entrenamiento en habilidades específicas como la planificación o la regulación emocional se sigue realizando con medios tradicionales (instrucciones en papel, imágenes y pictogramas impresos), y en los centros de educación especial no se utiliza frecuentemente tecnología para elaborar estos materiales. Hacerlo, sin embargo, permitiría a los implicados en la educación del individuo personalizar la asistencia de forma más fácil y menos costosa (e.g.: si muestran una secuencia de pictogramas con una *tablet* o un *smartphone* pueden generar varias secuencias personalizadas para cada individuo en una clase, frente a la dificultad de imprimir pictogramas, que consume recursos y no se pueden personalizar a posteriori). El tiempo es un recurso muy valioso en asistencia cognitiva: las tareas que consumen mucho tiempo a los educadores les obligan a asistir a grupos muy reducidos de individuos y les impide personalizar los apoyos en profundidad.

Normalmente, las herramientas de autor o plataformas para generar contenidos digitales vienen acompañadas por la aplicación que utiliza el usuario final y que se nutre de los contenidos generados por la primera. A continuación analizaremos los

ejemplos de herramientas de autor para editar contenidos de asistencia más relevantes para esta Tesis.

AssisT

El sistema integral de asistencia AssisT descrito en la subsección anterior [15] cuenta con algunas herramientas de autor destacables. La herramienta para el guiado en exteriores cuenta con una herramienta de autor web que permite configurar destinos conocidos para un usuario dado y editar la ruta y los apoyos generados, de tal forma que cada usuario obtiene una ruta adaptada de forma personalizada. La herramienta de asistencia en tareas de la vida cotidiana incluye una interfaz visual para ordenador que permite generar las guías interactivas a modo de secuencias de pasos con pictogramas para que el usuario pueda recorrerla una vez escanee el QR asociado a la actividad.

REACT

El sistema desarrollado por Boujarwah *et al.* [114] proporciona herramientas para crear intervenciones individualizadas basadas en historias sociales (ver Capítulo 2). Está pensado para usuarios de autismo de alto funcionamiento, y permite componer módulos de instrucciones y escenarios orientados a estimular la interacción social a partir de ejemplos prácticos en ordenador. Está centrado en la usabilidad, de tal forma que todos los implicados en el desarrollo psicosocial del usuario (padres, tutores, educadores, etc.) puedan utilizarla para crear escenarios personalizados. De esta manera, los usuarios pueden acceder fácilmente a un abanico amplio de situaciones sociales prácticas individualizadas que pueden ensayar para mejorar su desenvoltura, habilidades sociales y aspectos emocionales de la interacción.

ISSIS

Constantin *et al.* [115] también abordan las dificultades para la interacción social entre individuos con autismo mediante una plataforma digital para crear historias sociales. Al contrario que REACT, este sistema no es una sustitución digital de una práctica que antes se realizara anteriormente en el contexto educativo. Este *software* proporciona soporte para que los educadores utilicen las historias sociales que propone como alternativa metodológica a otras estrategias de intervención social. Estas historias sociales están diseñadas para mejorar las habilidades comunicativas de los usuarios. Es un sistema evaluado por expertos en la creación de material de intervención para TEA, que señalaron la importancia de estar presentes en el proceso de diseño de las herramientas de autor, de tal manera que los métodos formales de intervención tuvieran

realmente soporte digital para llevarse a cabo en las aulas y contextos del individuo con discapacidad cognitiva.

ECHOES

Se trata de otra solución tecnológica para estimular y proporcionar asistencia en la interacción social y el entrenamiento de habilidades comunicativas de individuos con TEA [116]. Esta propuesta está basada en juegos formativos (o *serious games*, en inglés). El aspecto de herramienta de autor de este sistema consiste en sacar provecho de los datos obtenidos del usuario final junto a las prácticas empíricas (ver Capítulo 2) para facilitar la labor del educador a la hora de crear actividades nuevas. Estas actividades se muestran en un escenario a modo de patio de juegos en dos dimensiones con un agente virtual que actúa a modo de intermediario creíble para que el usuario se sienta seguro y ponga en práctica habilidades sociales.

AuthorAR

Los sistemas descritos anteriormente emplean tecnología de uso general y popularizado como el PC y las *tablets*. Sin embargo la propuesta de Lucrecia *et al.* [117] utiliza tecnología emergente: la realidad aumentada. Esta tecnología permite implementar actividades estructuradas en forma de exploración del entorno, y resulta particularmente convenientes para entrenar habilidades relacionadas con la adquisición del lenguaje. Este trabajo se centra también en los individuos con TEA y presenta, además, una revisión de las herramientas que hacen uso de la realidad aumentada en el terreno de la educación especial. El *software* AuthorAR integra, además, un editor de actividades con ejemplos para que sea utilizado por los educadores. El estudio no cuenta con una evaluación formal aún, pero se evidencian problemas relacionados con el aprendizaje del uso de la herramienta de autor, ya que la realidad aumentada no es una tecnología muy conocida a nivel docente.

Plataformas de registro de la conducta

Aunque no se trata de un sistema para editar contenidos y materiales que utilizan los usuarios finales, incluimos el trabajo de Sano *et al.* [118] porque consiste en una plataforma tecnológica que ayuda a los educadores, expertos y familiares en las tareas de asistencia en los usuarios con TEA. Se trata de un *software* para móviles y tablets que permite anotar y almacenar información detallada sobre la conducta de un individuo con TEA. Para diseñar este producto recogieron las impresiones de terapeutas y expertos en educación especial, de tal forma que la plataforma tuviera funcionalidad

suficiente para anotar todos los datos relevantes a la hora de realizar una entrada en un registro de la conducta. La aplicación también proporciona estadísticas y resúmenes de datos que facilitan la extracción de conclusiones y la intervención a posteriori. El estudio también dedica parte del trabajo a la usabilidad de la herramienta, argumentando que el nivel de uso de tecnología por parte del personal especializado en la educación de estas personas puede variar mucho y, por tanto, debe ser usable, flexible y robusta.

4.2. Aplicaciones de Computación Afectiva

Como se explicó en el Capítulo 3, la Computación Afectiva es el área de la ingeniería Informática que estudia las posibles aplicaciones de las TIC a la detección, procesamiento y modelización de las emociones. Esta área converge y se solapa con la investigación que rodea el autismo, dadas las dificultades que tienen los individuos con TEA para expresar, identificar y gestionar emociones. Por tanto, la labor interdisciplinar entre estas dos áreas da lugar al desarrollo de herramientas para que las personas con TEA mitiguen estas dificultades, así como nutren el marco teórico y tecnológico que permite obtener un mayor conocimiento de la esfera socioemocional de estas personas [119]. En el ámbito internacional, el grupo de trabajo *MIT Media Lab* ¹ supone la vanguardia en la investigación científica de este tipo. A partir de los resultados de su trabajo (algunos de ellos se describirán a continuación), Picard *et al.* [63] argumentan la necesidad de aplicar tecnología para mitigar las dificultades de las personas con TEA en el ámbito de la detección de emociones porque los síntomas de estados emocionales extremos como el pánico o la ansiedad no siempre son visibles exteriormente en el caso de estos usuarios y, de serlo, no de la misma manera que un usuario neurotípico. Por otra parte, el DSM-V [17] añade a la lista de dificultades del TEA algunos problemas motores, por lo que la labor de diseño no sólo se debe ceñir a la mera implementación de herramientas funcionales sino también han de ser sensibles a las dificultades de interacción que pueden surgir entre el individuo y el dispositivo a causa de dichos problemas.

La detección de emociones es un problema complejo, ya que la traducción de un estado emocional en un cambio en señales psicofisiológicas no es unívoco y está influido por varios factores del contexto interno y externo del usuario que son difíciles de parametrizar con exactitud. Sin embargo, autores como Quintana *et al.* [120] coinciden en que el pulso cardíaco es uno de los marcadores fisiológicos cuyos cambios están más relacionados con los cambios emocionales del usuario. El trabajo de este autor se centra en demostrar esta hipótesis, a partir de un experimento en el que se controlaron las variables adicionales que influyen en el pulso cardíaco: sexo, índice de masa corporal, hábitos como fumar y actividad física, depresión, ansiedad y estrés. Descartando cambios o influencias de dichos parámetros, los resultados indicaron que el pulso cardíaco

¹<https://www.media.mit.edu/>

funcionaba con una exactitud muy satisfactoria a la hora de detectar emociones. El autor también discute las consecuencias que tiene este hallazgo para entender las bases biológicas de las emociones en el ser humano, así como su aplicación a discapacidades de distinto tipo, como el TEA.

A continuación veremos los ejemplos más relevantes de la aplicación de esta idea a través de tecnología, esto es, sistemas de Computación Afectiva de detección y modelado de emociones:

PKYSTA

Se trata de un sistema híbrido diseñado por Cowie *et al.* [121] que utiliza los datos de un reconocedor facial y de voz para detectar los estados de ánimo del usuario. Este enfoque, al contrario que la propuesta bidimensional basada en energía y valencia que describimos en el Capítulo 3, discretiza las emociones y las clasifica en compartimentos separados: ciertas configuraciones faciales y de voz significan tristeza, otras significan alegría, otras estrés, etc. A pesar de que el planteamiento es potente y los resultados satisfactorios, un reconocedor facial requiere un *hardware* intrusivo y costoso. Además, las expresiones faciales asociadas a las emociones de un individuo neurotípico, como se discutía anteriormente, rara vez coinciden con la de un individuo con TEA. En este estudio también se desarrolla la importancia de las emociones y sus marcadores como canal implícito en la interacción persona-ordenador.

Detección asistida por auto-reportes

Sano [122] presenta un extenso estudio acerca del uso de *wearables* y *smartphones* para la detección de emociones y, en particular, del estrés. El mecanismo de inferencia se entrena con datos recogidos durante 5 días de 18 participantes a través de los siguientes medios:

- Una pulsera que mide el movimiento y la conductividad de la piel.
- Una encuesta acerca de los hábitos de consumo de alcohol y tabaco, horarios de sueño y estado de ánimo general.
- Una aplicación de *smartphone* que recogía datos sobre la actividad telefónica del usuario (llamadas, mensajes de texto) y el uso del dispositivo.

Los resultados muestran que el uso del teléfono era el factor principal de estrés de los usuarios, y con dicho parámetro conseguían entrenar un clasificador de momentos de

estrés con una precisión $>70\%$. Este tipo de estudios, cuya experimentación se aplica a las vidas cotidianas de los sujetos, son muy útiles para obtener datos en contextos reales. Sin embargo, al tratarse de experimentos no supervisados, los resultados dependen en gran medida de los datos que proporcionan los mismos usuarios acerca de la impresión que tienen sobre su estado de ánimo y sus condiciones fisiológicas. Debido a la alexitimia asociada a los individuos con TEA (ver Capítulo 2), la detección de estrés no puede depender de los auto-reportes, ya que tienen dificultades para identificar las emociones propias, añadidas al reto que supone para ellos comunicarlás.

Purple Robot

Saeb *et al.* [123] utilizan la aplicación de móvil Purple Robot para obtener datos contextuales del *smartphone* del usuario y detectar cuadros depresivos en el individuo. La contribución de este trabajo consiste en la capacidad para inferir un estado emocional complejo a través de la información puramente contextual de un individuo: su localización y uso del móvil. Esta aplicación no mide ningún parámetro fisiológico del usuario ni reconoce su expresión facial o voz, sino que detecta patrones anómalos en el ciclo del sueño y la movilidad del usuario durante el día para detectar un episodio de depresión. También se entrena a partir de la duración en el uso del móvil, la frecuencia y las aplicaciones utilizadas. A pesar de que la contribución de este trabajo supone un avance significativo en lo que a tecnologías conscientes del contexto y computación afectiva se refiere, el estado emocional que aborda (la depresión) se ubica dentro de un marco clínico que queda fuera de la intervención para discapacidad cognitiva. Además de que este tipo de problemas anímicos se manifiesta de forma distinta en un individuo con TEA, se requeriría una solución en profundidad que iría más allá que una intervención para ayudarles a autorregularse.

COGCAM

El sistema de McDuff *et al.* [124] utiliza un dispositivo remoto de fotoplethysmografía que mide el pulso cardíaco y la respiración a distancia. Esta tecnología permite monitorizar señales a distancia midiendo la cantidad de luz que refleja el cuerpo emisor de una señal. De esta manera, los autores construyen un sistema que detecta el estrés mediante una cámara ubicada a cierta distancia del individuo, y lo evalúan con 10 sujetos que realizan actividades en ordenador en un entorno real. El acierto del clasificador de estrés se calculó cotejando las predicciones con auto-reportes de los sujetos. Los resultados indican que las mediciones de la variación de pulso cardíaco fueron el marcador más indicativo del estrés. Los autores argumentan que las condiciones en las que se desarrolla el experimento y el control de factores externos permiten afirmar que este clasificador es independiente del usuario, dada la naturaleza de la señal de pulso cardíaco. Esto resulta particularmente útil para la propuesta de la Tesis, ya que

esta afirmación sobre la veracidad del pulso cardíaco para predecir estrés resulta válida también para las personas con TEA. Sin embargo, no es independiente de la actividad, ya que esa clasificación se hace en base a una tarea de oficina, por lo que la predicción puede fallar en más ocasiones si se aplica al resto de actividades de la vida cotidiana del sujeto. Por otra parte, el *hardware* necesario requiere una instalación fija, y eso lo hace inadecuado para la monitorización y asistencia ubicua de un individuo.

SWARM

Williams *et al.* [125] proponen un *wearable* a modo de bufanda que aprovecha los avances recientes en telas y tejidos conductores para integrar un circuito de sensores que miden las señales fisiológicas del usuario para inferir los estados emocionales del mismo. El diseño se ha realizado de forma colaborativa con los usuarios finales, por lo que el producto final se asemeja a una bufanda real tanto como es posible, con el objetivo de reducir la estigmatización que provocan muchos *wearables* por su apariencia. La bufanda también incluye un sistema de notificación para hacer consciente al usuario del estado afectivo en el que el sistema ha detectado que se encuentra. Con esto, los autores pretenden incrementar el nivel de consciencia del usuario sobre sus propias emociones de tal forma que pueda hacer algo para modificarlas o regularlas, si no son las deseadas en determinado contexto. Sin embargo, no se proporciona ninguna funcionalidad que actúe en este sentido. Los autores esbozan también unos principios de diseño universales para los *wearables* afectivos que se centran en la importancia de la modularización de los componentes de detección de emociones y la flexibilidad del sistema para poder realizar una predicción personalizada.

4.3. Estrategias de intervención para la autorregulación emocional

En el Capítulo 2 se realizó una revisión de las estrategias principales de intervención en TEA. Como se describía en los apartados correspondientes, la clasificación de estrategias de intervención es compleja porque, en la práctica, estas se combinan, adaptan y entrelazan para dar respuesta a las necesidades individuales de cada persona con TEA. Esto también ocurre cuando el objetivo de la intervención es, concretamente, dotar al individuo de la capacidad para autorregularse emocionalmente en cierta variedad de situaciones donde las consecuencias de sus episodios de estrés o ira puedan acarrearle problemas conductuales y anímicos a largo plazo.

Mazefsky [7] señala que no existen estrategias específicas de autorregulación emo-

cional que se hayan validado formalmente (aunque sí existen propuestas en la literatura [126, 127, 128, 129]), por lo que no se pueden añadir al conjunto de prácticas empíricas o basadas en evidencia que se listaban en el Capítulo 2. Desde luego, las técnicas de autorregulación emocional que se aplican en las propuestas destinadas a usuarios neurotípicos quedan descartadas por el hecho de basarse en el auto-reporte y en la capacidad del usuario de identificar las emociones propias. Mazefsky añade que existe una dificultad latente en la intervención para la autorregulación emocional en TEA porque los problemas asociados a estas dificultades lindan con lo clínico. Esto provoca que, en ocasiones, la intervención que se aborda en el ámbito académico es de tipo psicoterapéutico en lugar de una estrategia adaptada al modelo cognitivo del TEA. Sin embargo, en los centros de educación especial el enfoque al respecto es más práctico: las estrategias para autorregularse emocionalmente se abordan como conocimientos que se deben impartir y que los estudiantes deben adquirir, al igual que el resto del currículo. Por tanto, se modelan en forma de instrucciones, pautas y apoyos visuales, y se utilizan siguiendo la metodología prescrita por las estrategias de intervención genéricas basadas en evidencia. Por tanto, la tecnología que sirva este propósito debe ser diseñada teniendo en cuenta un resultado final que sea flexible y que permita implementar o servir de plataforma para las estrategias generales, esto es, incluir funcionalidad para permitir el uso de secuencias de pasos, apoyos visuales, personalización, refuerzo positivo, retroalimentación, etc. (ver Capítulo 3).

4.4. Conclusiones

Este Capítulo pretende enmarcar en el ámbito académico la propuesta tecnológica de esta Tesis sobre un sistema de autorregulación emocional para personas con TEA utilizando *smartwatches*. Sin embargo, al no existir trabajos previos que utilicen esta misma tecnología para este propósito y dirigida a estos usuarios (de ahí la contribución de la Tesis), el Estado del Arte se describe desde un enfoque poliédrico que ubica la propuesta en la intersección de varias áreas de conocimiento e innovación como la psicopedagogía, las tecnologías para la asistencia y la computación afectiva, que sí presentan avances específicos relevantes en cada una de sus facetas.

En primer lugar, se analizan los trabajos previos que emplean *wearables* para asistir a usuarios con necesidades especiales. En el caso de los sistemas propuestos sobre *smartwatches*, su ámbito de aplicación es muy restringido (el educativo y el clínico), por lo que presentan dificultades para ofrecer una asistencia ubicua. Sin embargo, los niveles de satisfacción obtenidos en los resultados son elevados, lo que refuerza las expectativas de aceptación al seleccionar esta tecnología para nuestra propuesta. Los sistemas *wearables* basados en otros dispositivos consisten en diseños realizados *ad hoc* o con tecnología de acceso limitado como las Google Glass. A pesar de que la capaci-

dad de sensado y predicción en sus mediciones es deseable para un sistema como el que proponemos, el riesgo de abandono de estos dispositivos, debido a la estigmatización y diferenciación que acarrearán en su uso nos hace descartarlos como posibilidad en favor de los *smartwatches*.

Debido a que son la tecnología estándar más utilizada para asistencia en la literatura, también hacemos un recorrido por las herramientas móviles más significativas. Además de por su presencia, su ubicuidad y penetración a nivel social los *smartphones* resultan de especial interés como puente entre las tecnologías popularizadas y las emergentes como son los *wearables*. Por una parte analizamos algunas aplicaciones para la asistencia de personas TEA y otras dificultades cognitivas, que son relevantes para observar cómo se han venido convirtiendo las estrategias tradicionales en papel y con imágenes impresas en sus versiones multimedia, que permiten una flexibilidad y eficacia mayores de la asistencia proporcionada. Por último, y debido a que el soporte tecnológico no sólo se debe proporcionar a los usuarios finales sino a los involucrados en su proceso educativo, también se listan los trabajos hallados sobre herramientas de autor para crear y editar materiales multimedia que utilicen aplicaciones como las descritas anteriormente.

Una parte importante del sistema que se describe en esta Tesis es su intersección con la Computación Afectiva, especialmente en la parte relativa a la detección de emociones. Por tanto, también describimos algunos trabajos de Computación Afectiva. Estos sistemas, que en muchas ocasiones también utilizan *wearables*, aplican la capacidad de los sensores equipados para inferir emociones como el estrés en el usuario. Las dificultades halladas en los trabajos que se describen están relacionadas con restricciones a nivel de usuario o de contexto. En la descripción del sistema y su evaluación (Capítulos 5 y 6) se expondrán las decisiones tecnológicas y metodológicas que se han tomado al respecto. Por último, mencionamos las estrategias de intervención para la autorregulación emocional, refiriéndonos a las ya descritas en el Capítulo 2, como pilar teórico que fundamenta el carácter multidisciplinar de esta Tesis y la relaciona con el área de la psicopedagogía en TEA.

En conclusión, el análisis parcial de cada una de las componentes teóricas que articulan el objeto de la Tesis permite deducir unos requisitos para el diseño de un sistema de autorregulación emocional para personas con TEA utilizando *smartwatches*. Este será el punto de partida de la descripción del sistema en el siguiente capítulo.



5 Taimun-Watch

La gente era distinta conmigo. Algo de la divinidad de los discos, que ellos apodaban tigres azules, me había tocado, pero asimismo me sabían culpable de haber profanado la cumbre.

Jorge Luis Borges
Tigres azules (1983)

En este Capítulo describiremos el sistema conjunto de *smartwatch* y *smartphone* que se propone en esta Tesis para la asistencia en la autorregulación emocional de personas con TEA y que hemos llamado **Taimun-Watch**. Para ello, hacemos un recorrido por la estructura del desarrollo, que se ha llevado a cabo bajo una metodología centrada en el experto. Partimos de la motivación que nos ha llevado a escoger dicho modelo de proceso, las tareas que engloba para incluir al especialista en el diseño de la aplicación, y se completa el análisis y el diseño con una extracción de necesidades basada en la literatura estudiada en capítulos anteriores y la asesoría de los expertos. A continuación, dicho trabajo se materializa en una especificación de requisitos, y por último se expone el sistema final Taimun-Watch, describiendo los subsistemas que componen el módulo *smartwatch* y *smartphone*, así como el sistema de transmisión de información entre ambos.

5.1. Metodología centrada en el experto

La metodología seleccionada para el diseño y desarrollo de este sistema se engloba dentro de la categoría de metodologías centradas en el usuario. Normalmente, estos modelos de proceso se centran en el asesoramiento por parte del usuario final, involucrándole en las fases de análisis (para que la extracción de requisitos sea fiel a sus necesidades), diseño (para que valide los prototipos y decisiones tomadas) y evaluación (donde será sujeto activo de las pruebas). Esto se hace a través de técnicas como las entrevistas estructuradas o semi-estructuradas, *focus groups*, observación naturalista y métricas de usabilidad. Llevar a cabo estas actividades requiere tiempo y esfuerzo por parte del usuario final, además de un conocimiento exhaustivo de sus propias necesidades. En el caso de Taimun-Watch, el usuario final protagonista es el individuo con TEA, a quien le pueden resultar exigentes o imposibles muchas de estas actividades. Por tanto, para llevar a cabo una metodología que garantice absorber todos los beneficios del diseño centrado en el usuario, pero sin involucrar al individuo con TEA en tareas que no le sean adecuadas, se ha optado por diseñar el sistema bajo una metodología centrada en el experto. Esta metodología sustituye al usuario final por el especialista del área de la aplicación en las tareas mencionadas, ya que es la figura que tiene conocimiento pleno de sus necesidades y es capaz de participar en las tareas de análisis, diseño y evaluación del modelo de proceso que sean necesarias. Un objetivo principal del análisis y diseño de este sistema consiste en la relación de las conclusiones extraídas del estudio previo del uso de tecnología en TEA (Capítulo 3) y el Estado del Arte (Capítulo 4) con las necesidades de los usuarios del futuro sistema. Al final de esta sección se recopilan las decisiones tomadas en este sentido, que seguidamente se materializan en una lista de requisitos.

Para empezar, es necesario señalar que la decisión de llevar a cabo el diseño del sistema atendiendo a este modelo de proceso tiene como consecuencia que el número de implicados en el mismo sea mayor. La complejidad de las tareas que se engloban en un modelo de proceso para el desarrollo de software escala con facilidad a medida que aumentan los implicados en el desarrollo, por lo que una tarea de análisis previa que resulta crucial para evitar este riesgo es la definición y asignación de roles.

5.1.1. Roles

Como se ha explicado anteriormente, una parte esencial del análisis de *software* centrado en el usuario consiste en la identificación de los agentes involucrados en la actividad humana en la que se pretende introducir el sistema. La necesidad de realizar esta tarea de diseño se acentúa cuando el objetivo abordado es de carácter multidisciplinar, donde conviene delimitar la actividad de cada parte, evitando así añadir complejidad

al diseño y aprovechar al máximo los conocimientos de cada uno de los implicados en el mismo. Estos roles se definen y asignan a dichos implicados atendiendo a diversos criterios:

- **Incumbencia:** aspecto del sistema que atañe directamente al implicado.
- **Formación:** bagaje de conocimientos del implicado aprovechables para desempeñar una determinada tarea.
- **Interacción:** patrones de uso del sistema que llevará a cabo el implicado.
- **Información:** naturaleza de la información que necesita el implicado del sistema o viceversa.
- **Criterio de usabilidad:** importancia relativa de un elemento de usabilidad concreto para el implicado.
- **Soporte funcional:** funciones o características específicas del sistema que necesitan los implicados en un determinado rol.

Por otra parte, la utilidad de este tipo de esquemas es de carácter organizativo, ya que en ocasiones existen restricciones que llevan a desaconsejar que uno de los implicados asuma un determinado rol en proceso, a pesar de su formación y contexto. Los tres principales motivos para excluir o integrar a un implicado en el rol que, por los criterios expuestos anteriormente, se le asignaría o desaconsejaría son:

- **Riesgo operacional:** que exista algún riesgo de algún tipo y nivel asociado a la interacción del implicado con el sistema asumiendo un rol dado.
- **Restricciones tecnológicas:** desconocimiento o limitaciones del uso de la tecnología necesaria para que el implicado desempeñase cierto rol.
- **Contexto:** motivos que impidan temporalmente o por alguna otra contingencia excepcional la asunción de algún rol por parte de un implicado.

Por tanto, en la práctica se asignan tareas y se esboza el modelo de proceso asignando roles a los implicados en su diseño de esta manera, pero con la flexibilidad que exige la atención a que alguna de las restricciones expuestas exista. En el caso de este producto, los roles identificados para los implicados que habrá en nuestro sistema son los siguientes:

- **Experto de dominio:** se utiliza para denominar a las personas que poseen conocimientos del área de aplicación de la herramienta software, siempre y cuando ésta no sea la propia ingeniería de software. En el caso de esta Tesis, el dominio de la aplicación es la educación especial o psicopedagogía y, tangencialmente, la psiquiatría, por lo que identificamos dos roles potenciales de experto de dominio:
 - **Especialista en psicopedagogía:** se trata de los expertos en dicha área, que lleva a cabo su actividad desde el lado científico o profesional. Identificamos dos subtipos de rol dentro de esta categoría:
 - **Educador:** persona que realiza labores docentes en un centro de educación especial.
 - **Profesional:** persona que no realiza labores docentes pero participa de la actividad de un centro de educación especial o de investigación en psicopedagogía. Realizan tareas que comprenden desde la divulgación hasta la coordinación de actividades docentes o investigadoras.
 - **Observador:** persona con conocimientos en psicopedagogía con experiencia en la observación naturalista y el registro de la conducta.
 - **Especialista clínico:** se trata del personal con formación en psiquiatría, encargado de la validación de conclusiones respecto al uso de señales fisiológicas como marcadores de estrés y el arbitraje en la observación naturalista durante la fase de evaluación.
- **Usuario final:** la persona que utilizará la aplicación. Distinguimos dos tipos de usuario final:
 - **Individuo con TEA:** son el núcleo del desarrollo, ya que de ellos surge la necesidad motivadora del proyecto: la de obtener asistencia para la realización de estrategias de autorregulación emocional.
 - **Educador:** los educadores adquieren un doble rol en este diseño, ya que además de actuar como expertos de dominio, son los responsables elaborar y aplicar las estrategias de autorregulación emocional para estos usuarios.
- **Técnico:** son los expertos en tecnología, los encargados de desarrollarla, presentarla y desplegarla en el entorno que se requiere. Estos se subdividen, a su vez, en:
 - **Analista:** elabora el modelo de proceso del sistema y lidera la toma de decisiones de diseño.
 - **Desarrollador:** realiza la codificación de los subsistemas diseñados por el analista.
 - **Observador técnico:** persona que, desde el rol de analista o desarrollador, lleva a cabo tanto observaciones que engloban la monitorización del funcionamiento del sistema durante la evaluación como observación naturalista, a modo del observador experto de dominio.

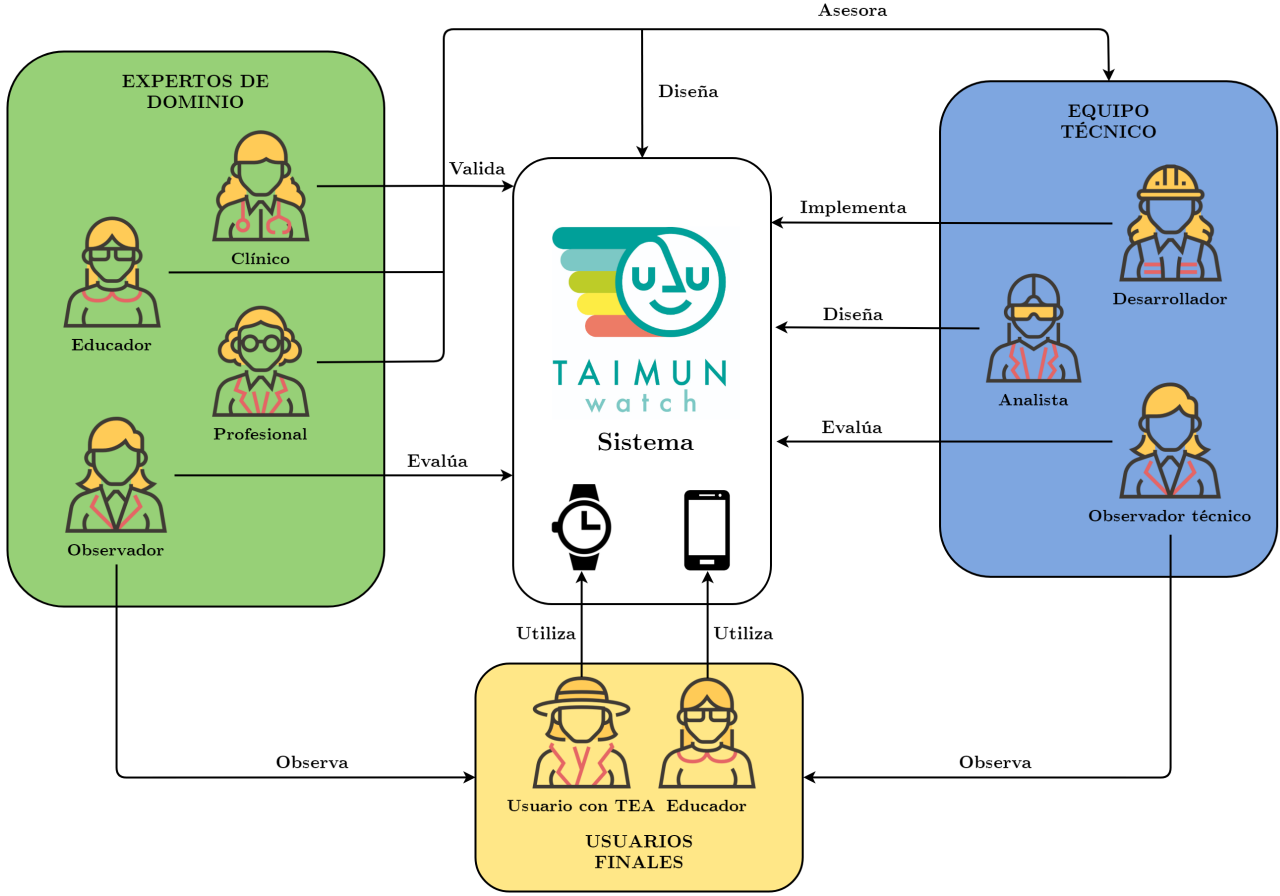


Figura 5.1. Mapa de roles para el modelo de proceso de Taimun-Watch

En la Figura 5.1 se muestra el mapa de roles de este sistema, junto con la actividad que desempeña cada uno y el objetivo de las mismas.

5.1.2. Modelo de proceso

Una vez asignados los roles y las tareas de cada uno, se procede a la definición de fases del proyecto, donde se ubican temporalmente estas figuras y se establecen las actividades que se llevarán a cabo. En cuanto a la estructura del modelo de proceso, hemos optado por un **ciclo de vida iterativo en cascada**. Este ciclo de vida se integra particularmente bien con el diseño centrado en el usuario (o en el experto, como es este caso), ya que los resultados de su participación en cada fase del proyecto permiten volver a una fase anterior para implementar los cambios e integrar los conocimientos que aporta cada rol en el proceso. En la Figura 5.2 se muestra un diagrama con las fases del desarrollo y las actividades principales comprendidas en cada una. En todas las fases se integra la actividad del experto.

En el análisis, las reuniones y entrevistas semi-estructuradas con los especialistas del dominio de la aplicación resultan en un estudio de las necesidades que, combinadas con el estudio de la literatura en capítulos anteriores, se materializa en una lista detallada de requisitos. Los *focus groups* son un subtipo de entrevista en la que los implicados conforman un grupo heterogéneo que engloba representantes de cada uno de los roles (o la mayoría de ellos), y se toman decisiones o extraen necesidades y requisitos con la ayuda de la perspectiva global que proporciona esta composición. El resultado de dichas actividades se describe en este capítulo, previamente a la descripción del sistema. En la fase de diseño, se compartimenta la funcionalidad de la herramienta en módulos, de tal manera que se pueden mostrar maquetas y prototipos a los expertos de forma progresiva y estructurada, quienes se encargan de validarlas para dar paso a la implementación, donde, a pesar de que la labor principal reside en el equipo técnico, se mantienen reuniones periódicas de seguimiento para mantener actualizado al equipo.

En la fase de evaluación, la presencia del experto vuelve a tomar protagonismo. En conjunto con el equipo técnico, los especialistas arbitran los experimentos, participan de la observación naturalista y validan las conclusiones extraídas. Los usuarios finales toman una posición central, porque prueban la aplicación en un entorno real con contenido personalizado. En el Capítulo 6 describimos esta fase y los resultados obtenidos.

Una vez descrito el modelo de proceso y asignados los roles implicados en el desarrollo, recopilaremos las necesidades que se han deducido del estudio de la literatura y las actividades mencionadas con los expertos de dominio.

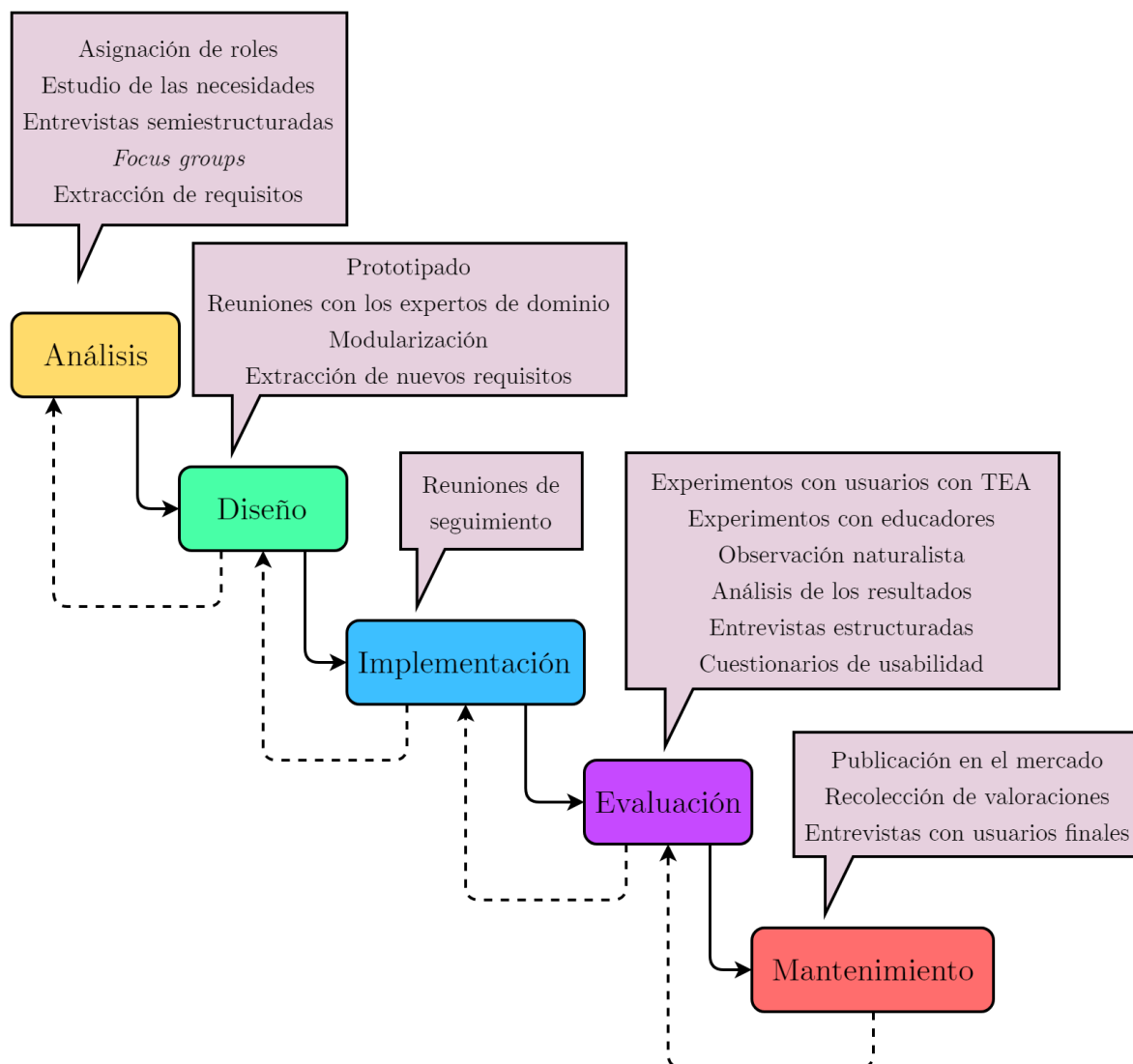


Figura 5.2. Ciclo de vida iterativo en cascada para Taimun-Watch

5.2. Necesidades

5.2.1. Necesidades en cuanto a las estrategias

En el Capítulo 2 se hace un recorrido por los tipos de estrategias que se utilizan en los centros de educación especial y hogares para la asistencia cognitiva de individuos con TEA según la literatura. Extraemos tres necesidades principales de los usuarios respecto a las estrategias que se puedan implementar con el sistema:

- **Secuenciación:** las principales estrategias con base empírica vistas como DTT,

PRT y la intervención mediada por pares (ver Capítulo 2) se fundamentan en la división de tareas en pasos para favorecer la asimilación por parte del individuo con TEA. De esta forma, se toma consciencia del proceso global a medida que se repite la actividad a través de instrucciones. DTT se centra en la necesidad de dividir las tareas en instrucciones atómicas, y delega la tarea de dar visión de conjunto al educador o experto que elabore estas secuencias de instrucciones. PRT también necesita secuencias de instrucciones para que el individuo con TEA practique determinadas conductas que reemplacen las que le resultan perjudiciales o disfuncionales, y la intervención mediada por pares realiza una labor análoga pero en conductas que involucren a otras personas de su entorno. Las historias sociales abordan narrativas audiovisuales que, en su base, también son secuencias de pasos que describen una situación social que el usuario debe poner en práctica cuando ocurra alguna eventualidad que le pueda provocar alteraciones indeseadas en la conducta.

- **Apoyos visuales:** tanto las estrategias arriba mencionadas como las alternativas comunicativas descritas en PECS y el *video-modeling* se basan en el uso de imágenes, pictogramas y otros elementos visuales para transmitir la información al individuo con TEA. Por tanto, el sistema diseñado deberá dar permitir estructurar secuencias de instrucciones basadas no sólo en texto sino en este tipo de apoyos.
- **Autodeterminación:** las estrategias de refuerzo positivo de la conducta y de estímulo de la autoevaluación vistas en dicho capítulo basan su filosofía en el desarrollo de la autodeterminación del individuo. El sistema que implemente estrategias de autorregulación debe proporcionar opciones para que se integren mecanismos que repliquen esas actividades en las secuencias de instrucciones.

5.2.2. Necesidades en cuanto a la funcionalidad

- **Asistencia:** esta es la necesidad fundamental de las personas con TEA que aborda esta Tesis. El principal problema del estado actual de las estrategias de intervención consiste en que deben ser puestas en práctica con ayuda de los educadores o familiares y, además, en el momento en el que un episodio problemático ocurre, en el caso de las destinadas a asistir en la autorregulación emocional. Esto es costoso, pues requiere recursos logísticos, materiales y temporales elevados. Incluir tecnología en el proceso pretende rebajar el coste de este proceso, además de proporcionar una ayuda más efectiva, personalizada y disponible en ocasiones y lugares donde antes no era posible, debido a que bien los materiales o los profesionales que les indican las instrucciones no están siempre al alcance del individuo.
- **Edición y gestión de contenido:** dado que la elaboración de las instrucciones

es principal en la puesta en marcha de estrategias de autorregulación emocional por parte de educadores y familiares, es indispensable que el sistema proporcione la funcionalidad necesaria como herramienta de autor para facilitar esta tarea. Existe una necesidad de proporcionar herramientas para que la creación de estrategias sea individualizada, versátil e intuitiva.

- **Retroalimentación:** el ciclo de vida de una estrategia de intervención no se limita a crearlas y luego ponerlas en práctica. Los educadores o familiares deben observar el efecto de las mismas para comprobar si necesitan cambios, de tal manera que cada secuencia de instrucciones se personalice al máximo para cada usuario. Una solución tecnológica que comprenda la creación y visualización de estrategias también debe dar soporte para recoger los datos indicativos de la eficacia de las mismas y mostrarlo al gestor de contenido para que actúe en consecuencia.

5.2.3. Necesidades en cuanto a la tecnología

En el Capítulo 3 se exponen los argumentos por los que se deciden utilizar *smart-watches* comerciales, que se resumen en estos tres puntos:

- **Funcionalidad:** con estos dispositivos es posible realizar las labores de interacción implícita y explícita que se mencionaban en dicho Capítulo, es decir, son capaces de recoger datos indicativos del estado interno del usuario y actuar en consecuencia de los mismos, al mismo tiempo que proporciona la posibilidad de interactuar con él activamente a través de su pantalla. De esta forma, el dispositivo sirve como detector de episodios de estrés y, a su vez de visualizador y asistente en la puesta en práctica de estrategias de autorregulación emocional.
- **Aceptación:** de entre los dispositivos que proporcionan la funcionalidad descrita en el punto anterior, descartamos los dispositivos diseñados *ad-hoc* porque su uso distingue y hace llamativo al usuario en su entorno, con el riesgo de estigmatización que conlleva. También descartamos los dispositivos como *Google Glass* por su intrusividad y dificultad de acceso, y las pulseras como *FitBit* o *Empatica* por no tener la capacidad interactiva deseada.
- **Simplicidad:** en cuanto a la aceptación por parte de los involucrados en el desarrollo de los usuarios objetivo –educadores y familiares–, la selección de *smart-watches* comerciales pretende satisfacer su necesidad de que la tecnología sea sencilla y su uso no requiera un proceso de aprendizaje elevado. Estos dispositivos, al estar basados en sistemas operativos conocidos por el usuario estándar, suponen una ventaja relativa a la instalación, gestión, mantenimiento y actualización, procesos que son conocidos por los involucrados, ya que son idénticos a los utilizados en las aplicaciones de uso diario.

Sin embargo, dentro de ese conjunto existen *smartwatches* que funcionan sobre diferentes sistemas operativos. Los principales son:

iOS

Bajo este sistema operativo de Apple existe un único tipo de *smartwatch*: el *Apple Watch*. La primera versión salió al mercado al 2015, y le siguieron dos versiones más en los años siguientes, siendo la actual el *Apple Watch Series 3*. Estos dispositivos se conectan únicamente con el *iPhone*, y su sistema operativo es el *watchOS*, una versión *wearable* del *iOS*. Cuenta con dos aportaciones principales a nivel interactivo: la corona digital, que permite realizar gestos en el contorno de la pantalla del reloj para realizar acciones de un modo similar a los gestos en la pantalla del *iPhone*, y la detección de presión, que permite distinguir entre toques con distinta fuerza en la pantalla del dispositivo. Toda la conexión con el *iPhone* se realiza por Bluetooth, y no posee WiFi ni entrada de audio (los cuales se proporcionan mediante la conectividad con dicho dispositivo). En cuanto a sensores, cuenta con acelerómetro, giroscopio, podómetro y pulsómetro.

El último dato que proporcionó *Apple* sobre el número de apps en el mercado para *Apple Watch* fue de 10.000 unidades en septiembre de 2015. A fecha de redacción de esta Tesis, se espera que dicha cifra se haya, al menos, duplicado. Las aplicaciones que tienen más éxito son las de comunicación (Facebook, Twitter, etc.) y fitness. Se estima que se han vendido cerca de 33 millones de dispositivos *Apple Watch* hasta el momento, ocupando un 13 % aproximadamente de la cuota de mercado de dispositivos tecnológicos en 2017 [130]. El coste de un *Apple Watch* supera los 300 euros.

Tizen

Es un sistema operativo de núcleo Linux que utilizan los *smartwatches* de Samsung, los Samsung Gear. Está basado en HTML5, lo que permite incluir SDKs de aplicaciones para permitir aplicaciones de distintos orígenes. Samsung lo ha extendido a otros *wearables*, *smartphones*, dispositivos para automóviles, Smart TVs y aplicaciones de Internet of Things. Permite un diseño muy flexible de interfaces de usuario, pero su ámbito de despliegue se restringe a los propios *smartwatches* de Samsung. Los dispositivos más recientes de esta marca integran varios sensores como pulsómetro, podómetro, acelerómetro, altímetro y sensor de luz ambiente. Este sistema operativo también es compatible con algunas aplicaciones Android. El precio de un dispositivo Samsung oscila entre los 150 y 300 euros.

Android Wear

Android Wear es la versión oficial del sistema operativo Android de Google diseñada para smartwatches y otros *wearables*. Es compatible con un gran número de dispositivos, tanto Android como iOS, y es soportado por muchos fabricantes de tecnología, entre ellos: Samsung, Motorola, LG, HTC y ASUS. Se pueden encontrar dispositivos con un equipamiento de sensores muy variado, pero es común encontrar acelerómetro, podómetro, giroscopio y pulsómetro. Son compatibles con todos los dispositivos Android a través de la interfaz de Android Wear, que permite vincular ambos dispositivos y gestionar las aplicaciones. Muchas de ellas se ejecutan tanto en *smartphone* como *smartwatch*, y funcionan de forma combinada para ofrecer experiencias interactivas enriquecidas en cuanto a comunicación, deporte y ocio. Esta variedad hace que existan un rango amplio de precios, pudiendo encontrar dispositivos por menos de 100 euros hasta otros que sobrepasen los 300 euros. La versatilidad, variedad, precio y la continua salida de dispositivos nuevos de este tipo hacen que sean muy populares [131], habiendo vendido cerca de 10 millones de *smartwatches* de Android Wear hasta finales de 2017.

Además del sistema operativo que utilicen los *smartwatches*, otro criterio importante a la hora de diseñar una aplicación de este tipo es conocer en qué manera pueden trabajar juntos y cómo se puede beneficiar el sistema de la potencia de los *smartphones* y la capacidad de sensado de los *smartwatch*. A continuación veremos brevemente qué posibilidades existen.

5.2.3.1. Interoperabilidad

La introducción de *wearables* en el paradigma de funcionamiento de los *smartphone* ha provocado la aparición de nuevas arquitecturas y nuevos paradigmas de interoperabilidad de estos dispositivos que, en ocasiones, enriquecen la funcionalidad de aplicaciones que ya existían. Existen los siguientes casos:

Aplicaciones independientes: Se ejecutan en el *smartwatch* y no necesitan interacción con *smartphones*, tabletas ni otros dispositivos auxiliares más que para la instalación de las aplicaciones (e.g.: Endomondo en Android Wear, Apple Pay en watchOS).

Aplicaciones dependientes del *smartphone*: son aplicaciones que originalmente eran de *smartphone* y, más adelante, incorporaron un módulo para añadir funcionalidad en *smartwatch*, a modo de lector de notificaciones, alertas o recordatorios. No son capaces de funcionar sólo en *smartwatch*, y siempre requieren tener el otro dispositivo emparejado (e.g.: Google Keep en Android Wear o iTunes en watchOS)

Aplicaciones duales: Son similares a las anteriores, pero su esquema de funcionamiento es más simétrico. En este caso, ambas partes *smartphone* y *smartwatch* son dependientes el uno del otro para el funcionamiento completo del sistema, si bien no significa que no puedan funcionar por separado para realizar parte de la funcionalidad (e.g.: PixtoCam para AndroidWear, Slopes para watchOS).

Dados los objetivos que hemos marcado y las necesidades que provienen del estudio del Capítulo 3, relativas a la necesidad de implicar a los educadores y familiares en la creación de estrategias de intervención para la autorregulación emocional sin resultar excesivamente intrusivos, proponemos un sistema dual, que permita crear de forma asíncrona las estrategias de intervención en el *smartphone* sin la necesidad de tener el *smartwatch* conectado más que para sincronizar las estrategias cuando se desee. El *smartwatch*, por su parte, mostrará dichas estrategias y detectará los episodios de estrés si necesidad de estar conectado al *smartphone* dado el momento.

Teniendo en cuenta las características operativas descritas y las necesidades en cuanto a la tecnología que se han expuesto, seleccionamos los *smartwatches* de Android Wear. Los teléfonos móviles de Android son los más utilizados, y su uso resulta intuitivo para usuarios con experiencia baja o media en el uso de tecnología como son los familiares y los educadores. Por otra parte, aunque el *wearable* más conocido sea el *Apple Watch*, su precio lo hace más inaccesible para muchos usuarios. Por menos precio, se pueden encontrar dispositivos más baratos, con la misma capacidad para obtener datos de pulso cardíaco y movimiento, más personalizables y parecidos a los relojes de muñeca, que muchos de los individuos con TEA llevan en su vida diaria, lo que minimizaría el impacto negativo y la estigmatización.

Esta elección es necesaria como paso previo a la extracción de requisitos del sistema, ya que sólo se pueden delinear funcionalidades exactas del sistema si se conocen las capacidades concretas de la tecnología escogida. De esta forma, los requisitos pueden ser tan detallados como se desee.

5.3. Requisitos

Estos requisitos han sido extraídos en estrecha colaboración con el centro “**Alenta: a new social way**”¹, a o largo de varias reuniones en las que se expuso la motivación de crear este sistema (y que ha sido detallada en su marco teórico en el Capítulo 3). En este centro, se trabajan las distintas etapas de desarrollo de una persona con discapacidad

¹<https://www.alenta.org/>

cognitiva: edad temprana, adolescencia y vida adulta con residencias tuteladas y terapia ocupacional. Entre sus alumnos hay perfiles de TEA, de Síndrome de Down, de TDAH y otros trastornos del desarrollo. En esas reuniones, se insistió en la idea de crear una plataforma que permitiese llevar a cabo actividades de intervención de la forma más parecida posible a como se realizaban sin medios tecnológicos, de forma que el impacto del dispositivo fuese mínimo, y los resultados de dichas estrategias no se viera perjudicado, sino enriquecido, por el uso de tecnología. Por otra parte, estas reuniones sirvieron para conciliar las necesidades de los usuarios con el aspecto técnico de los dispositivos. Gracias a esto, se pudieron esbozar requisitos concretos que aprovecharan la capacidad de cómputo, sensado y conectividad de las tecnologías involucradas. A continuación enumeramos y etiquetamos estos requisitos, clasificados por dispositivo, tipo y ámbito de aplicación.

5.3.1. Requisitos generales

RG1. Arquitectura - El sistema contará con una aplicación de *smartwatch* y una aplicación de *smartphone*. La primera será utilizada por el usuario con TEA, y la segunda por el familiar o educador que diseñe sus estrategias de intervención.

RG2. Funcionamiento del *smartwatch* - La aplicación de *smartwatch* medirá el nivel de estrés del usuario y alertará al mismo cuando se detecte un episodio en el que necesita llevar a cabo su estrategia de autorregulación. Tras la alerta, se mostrará en la pantalla la guía para llevarla a cabo.

RG3. Funcionamiento del *smartphone* - La aplicación de *smartphone* permitirá crear, modificar y gestionar las estrategias de intervención, además de mostrar de manera visual los registros obtenidos en la sincronización.

RG4. Sincronización - Las dos aplicaciones integrarán una función de sincronización del contenido: el *smartphone* enviará al *smartwatch* las estrategias de intervención, y en sentido contrario se enviarán los registros de los sensores y la interacción con las estrategias.

RG5. Modelo de datos - El contenido que le envíe el *smartphone* al *smartwatch* será un método de **regulación** emocional. Estarán compuestos por una o más **estrategias**, que, a su vez, estarán compuestas de **pasos** en una secuencia.

5.3.2. Requisitos de la aplicación *smartwatch*

5.3.2.1. Requisitos funcionales

Sensores

RSFS1. Pulsómetro - El *smartwatch* deberá monitorizar la señal de pulso cardíaco.

Los datos recogidos deben incluir un muestreo del flujo de datos que reciba el sensor y la precisión registrada en cada muestra (siendo 0 el indicador de que no se están recibiendo medidas y 3 el indicador de máxima precisión).

RSFS2. Acelerómetro - El *smartwatch* deberá monitorizar la señal del acelerómetro. Los datos recogidos deben incluir un muestreo del flujo de datos de cada sensor asociado a los ejes X, Y y Z y la precisión registrada en cada muestra (con la misma codificación que en RS1).

RSFS3. Giroscopio - El *smartwatch* deberá monitorizar la señal del giroscopio. Los datos recogidos deben incluir un muestreo del flujo de datos de cada sensor asociado a los ejes X, Y y Z y la precisión registrada en cada muestra (con la misma codificación que en RS1).

RSFS4. Podómetro - El *smartwatch* deberá monitorizar la señal del detector de pasos. Aunque se trata de unos datos que provienen de un pre-procesado del acelerómetro, se hace a bajo nivel, y tratar de obtener la misma información de manera programática sería menos eficiente. Los datos recogidos deben incluir un muestreo del flujo de datos del sensor y la precisión registrada en cada muestra (siendo 0 el marcador de no haber detectado pasos, 1 el marcador de haber detectado movimiento pero no un paso, 2 el marcador de haber detectado un movimiento semejante a un paso y 3 el marcador de haber detectado un paso.).

RSFS5. Recolección de datos - Desde el momento en el que la aplicación esté puesta en marcha, los sensores mencionados se monitorizarán y sus datos se registrarán en ficheros aptos para ser enviados cuando el *smartwatch* se conecte con el *smartphone* a través del mecanismo de sincronización.

Estrategias

RSFE1. Reproducción de estrategias - La aplicación deberá ser capaz de leer la regulación enviada desde el *smartphone* y reproducirla en su pantalla con todas las opciones interactivas indicadas.

RSFE2. Registro - Se almacenarán dentro del ámbito de la aplicación los registros de uso, esto es: inicio y fin de la regulación, inicio y fin de una estrategia e interacción con la pantalla (toques, desplazamientos, etc.).

RSFE3. Envío de registros - Cuando el *smartphone* se sincronice con el *smartwatch*, este debe enviar tanto los registros mencionados en [RSFS5] como los de [RSFE2]

5.3.2.2. Requisitos no funcionales

RSN1. Flexibilidad - La monitorización de sensores debe ser flexible para adaptarse a todo tipo de *smartwatches* Android, de tal forma que no sea dependiente de un único modelo de sensor de cada tipo o de configuración del mismo en el sistema operativo.

RSN2. Robustez - La aplicación debe comprobar la disponibilidad de los sensores, y seguir funcionando si alguno de ellos no puede asignarse al proceso que pertenece a la aplicación en un momento determinado.

RSN3. Segundo plano - La aplicación deberá gestionar adecuadamente la prioridad de la monitorización y recolección del flujo de datos de las señales, de tal forma que no se pierda información cuando el dispositivo inicie actividades de alta carga como juegos y reproducción de vídeos.

RSN4. Configuración de energía - La aplicación deberá comprobar adecuadamente la configuración de energía del dispositivo para evitar perder datos cuando entre en suspensión o se apague la pantalla.

RSN5. Integridad de los registros - La aplicación deberá detener la recolección de datos cuando el dispositivo esté cargando o con batería muy baja. Esto es debido a que durante la carga no es posible llevar estos dispositivos puestos y para evitar corrupción de los ficheros de registros si el dispositivo se apaga de forma inesperada.

5.3.3. Requisitos de la herramienta de autor

5.3.3.1. Requisitos funcionales

Usuarios

RAFU1. Información del usuario - La aplicación contará con perfiles de usuario. La información que contendrá será: nombre, género, foto (opcional) y tipo de reloj (circular o cuadrado).

RAFU2. Gestión de usuarios - La aplicación permitirá añadir, gestionar y eliminar usuarios del sistema.

RAFU3. Foto de perfil de usuario - El usuario podrá agregar, cambiar o eliminar su foto de perfil. Esta podrá proceder de la cámara o la galería del dispositivo. La aplicación permitirá asignar una foto de perfil por defecto.

RAFU4. *Smartwatches* disponibles La aplicación mostrará una lista de *smartwatches* conectados ese momento a la interfaz Android Wear Network.

RAFU5. Asignación de *smartwatch* La aplicación permitirá asignar uno de los *smartwatches* de la lista a uno de los usuarios.

RAFU6. Selección de usuario activo - La aplicación permitirá seleccionar cuál es el usuario activo en cada momento, con el que se sincronizarán las regulaciones dado el caso.

RAFU7. Información de usuario activo - La aplicación mostrará en todo momento cuál es el usuario activo.

Regulación

RAFR1. Vista de regulaciones - La aplicación permitirá visualizar todas las regulaciones existentes o, en su defecto, mostrará un mensaje indicando que no hay ninguna.

RAFR2. Creación de regulaciones - La aplicación permitirá crear regulaciones con un nombre e icono personalizado. También ofrecerá iconos por defecto si no se desea personalizar.

RAFR3. Modificación de regulaciones - La aplicación permitirá añadir estrategias a una regulación.

RAFR4. Sincronización de regulaciones - La aplicación permitirá sincronizar las regulaciones asignadas a cada usuario con el reloj correspondiente.

Estrategia

RAFE1. Vista de estrategias - La aplicación permitirá visualizar todas las estrategias existentes o, en su defecto, mostrará un mensaje indicando que no existe ninguna.

RAFE2. Creación de estrategias - La aplicación permitirá crear estrategias con un nombre e icono personalizado. También ofrecerá iconos por defecto si no se desea personalizar.

Paso

RAFP1. Vista de pasos - Las estrategias estarán compuestas por pasos. Al seleccionar una estrategia, se abrirá el editor de los pasos que contiene.

RAFP2. Contenido de pasos - En los pasos se podrá incluir texto o imagen:

Texto: se deberá permitir personalizar el tamaño, color y si está en mayúsculas o minúsculas

Imagen: se deberá permitir seleccionar un pictograma de un conjunto de pictogramas por defecto, o bien añadir una imagen de la galería o de la cámara

RAFP3. Previsualización de pasos - El editor de pasos debe permitir previsualizarlos con los dos tipos posibles de pantalla de *smartwatch* Android: circular y cuadrada.

RAFP4. Límite de pasos - Se debe permitir añadir nuevos pasos en el editor, con un máximo de 15.

Configuración

RAFC1. Refuerzo positivo - Se debe poder incluir un refuerzo positivo al final de cada estrategia. De esta forma, el usuario podrá ver una imagen motivadora cuando la finalice.

RAFC2. Comprobación final - Se incluirá una opción en la configuración de la estrategia para comprobar si, al final de la misma, las señales fisiológicas del usuario siguen indicando estrés, y si es así, volver a iniciar la estrategia de autorregulación.

RAFC3. Autoevaluación - Se incluirá una opción en la configuración de la estrategia para comprobar si, al final de la misma, se debe preguntar al usuario si se encuentra calmado tras realizarla.

RAFC4. Tipo de transición - Se incluirá una opción en la configuración de la estrategia para establecer que la transición entre paso y paso sea por tiempo o por toque en la pantalla.

RAFC5. Tiempo global - Se incluirá una opción de la configuración de la estrategia para añadir, opcionalmente, un tiempo límite para toda la estrategia, que permita navegar entre todos los pasos de la misma hasta que éste se agote.

RAFC6. Tipo de temporizador - El editor deberá permitir escoger entre un temporizador visual circular y otro en el que la pantalla se vaya llenando o vaciando de un color.

RAFC7. Vibración - Se incluirá una opción en la configuración de la estrategia para decidir si el inicio de una estrategia se avisa con la vibración del dispositivo o un pitido, en caso de que tenga altavoz.

RAFC8. Selección para el usuario - Se incluirá una opción en la configuración de la estrategia para decidir si las estrategias contenidas en una regulación se mostrarán secuencialmente o el usuario podrá seleccionar la que desea.

Visualización de datos

RAFV1. Visualizador - La aplicación incluirá un visualizador de los datos recogidos del *smartwatch* para el usuario activo.

RAFV2. Calendario - El visualizador mostrará un calendario para que el usuario seleccione el día cuyos datos quiere visualizar.

RAFV3. Vista de eventos - Una vez seleccionado el día, se mostrarán los eventos sucedidos ese día en forma de lista.

RAFV4. Filtrado de eventos - Se podrá filtrar la lista de eventos por fecha de inicio y fin.

RAFV5. Modos de visualización - Existirán dos modos de visualización: básico y avanzado.

RAFV6. Modo básico - El modo básico mostrará el nombre de la regulación activada, la hora de inicio y fin y las pulsaciones en dichos extremos.

RAFV7. Modo avanzado - El modo avanzado permite seleccionar el fichero de datos perteneciente al día observado que se desea seleccionar.

RAFV8. Ejes de coordenadas - Si el fichero de datos contiene la información de un sensor de varias coordenadas, el visualizador en modo avanzado permitirá seleccionar los ejes que se desean observar.

RAFV9. Información de carga - La carga del fichero de datos deberá informar al usuario del progreso.

Otros

RAFO1. Backup - La aplicación proporcionará una opción para realizar un *backup* de los datos, o programar que se realice automáticamente cada cierto tiempo.

RAFO2. Carga del backup - Siempre que exista un *backup* en memoria, se permitirá al usuario restaurar los datos a partir de la misma.

RAFO3. Almacenamiento de los registros - La aplicación permitirá obtener los registros que envía el *smartwatch* tras la sincronización y almacenarlos en la ubicación del *smartphone* que indique el usuario.

RAFO4. Protección con PIN - El usuario podrá, opcionalmente, activar un sistema de protección por código PIN para acceder a la información del sistema.

RAFO5. Tutorial - Se incluirá un tutorial de uso de la aplicación que se podrá consultar en cualquier momento.

RAFO6. Ayuda - En las opciones de configuración más complejas se debe mostrar un *popup* con una descripción breve del funcionamiento de la misma.

5.3.3.2. Requisitos no funcionales

RAN1. Sistema operativo - La aplicación debe ser implementada para *smartphones* con sistema operativo Android y funcionar correctamente en la versión 20 del SDK y superiores.

RAN2. Funcionamiento offline - La aplicación debe ser capaz de funcionar por completo sin necesidad de conexión a Internet.

RAN3. Usabilidad - La aplicación debe ser usable para usuarios no familiarizados con tecnología.

RAN4. Apariencia - La aplicación debe contar con interfaces gráficas bien formadas y con un estilo coherente en todas sus partes.

RAN5. Información de la sincronización - Durante la sincronización de regulaciones, debe ofrecerse información del progreso para mantener informado al usuario.

RAN6. Modularización y flexibilidad - La aplicación debe estar modularizada de forma que sea fácil añadir nuevas funcionalidades.

RAN7. Formato GIF La aplicación debe permitir el uso de archivos .GIF en los pasos de las estrategias.

RAN8. Almacenamiento Las fotos y recursos propios de los usuarios de la aplicación deben ser almacenados en una carpeta propia de la misma.

RAN9. Idiomas - La interfaz debe estar disponible en castellano, inglés y catalán.

RAN10. Aprendizaje - Los nuevos usuarios de la aplicación no deberían tardar más de 15 minutos en manejar y comprender la dinámica de las estrategias y las regulaciones.

RAN11. Robustez - En caso de errores excepcionales, la aplicación debe ser capaz de recuperarse, mostrando al usuario la información de los últimos datos guardados.

5.4. Aplicación de *smartwatch*: autorregulación emocional

Se trata del lado *wearable* de Taimun-Watch [RG1, RG2]. Es la aplicación que utilizará la persona con TEA, y sus funciones son:

- Monitorizar y registrar las señales del *smartwatch*.
- Mostrar la regulación programada para ese *smartwatch* cuando se detecte un episodio de estrés a partir de esas señales.
- Registrar la interacción que realiza el usuario con el *smartwatch*.
- Enviar al *smartphone* los datos de interacción y de sensado durante la sincronización.
- Recibir la regulación y los contenidos multimedia adjuntos durante la sincronización.

En la Figura 5.3 podemos observar los subsistemas de los que consta la versión final de Taimun-Watch en *smartwatch*. A continuación describiremos el funcionamiento de cada uno.

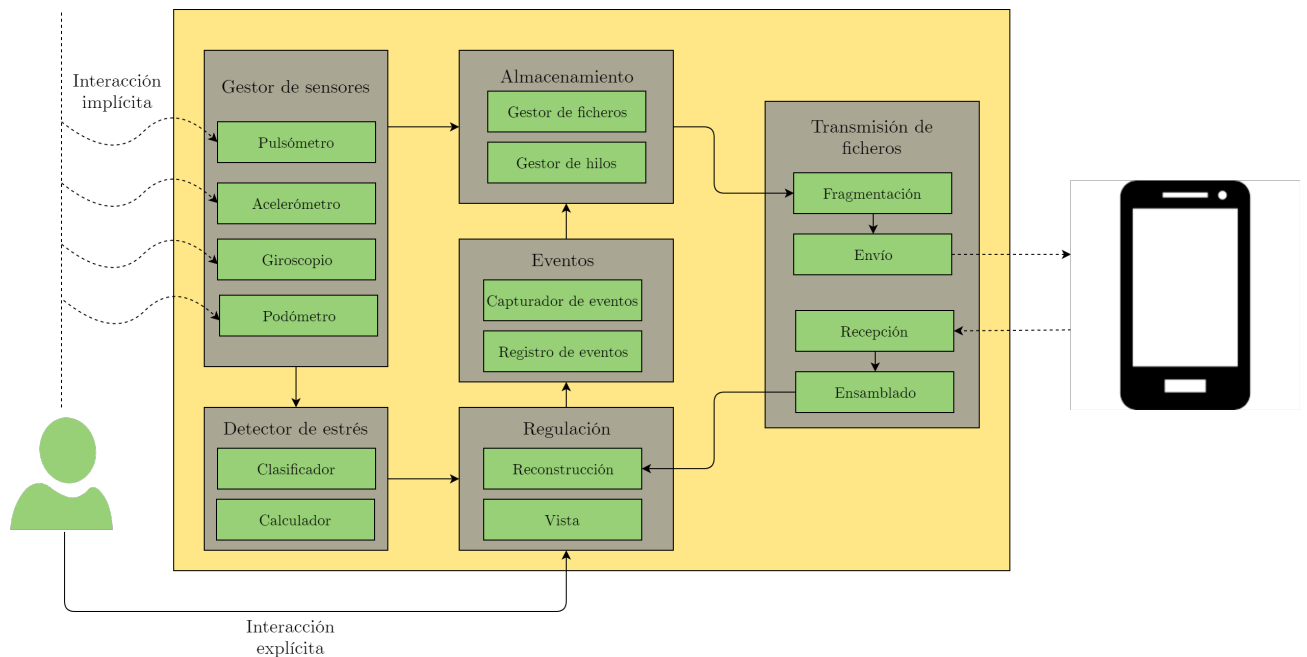


Figura 5.3. Subsistemas del lado *smartwatch* de Taimun-Watch

5.4.1. Gestor de sensores

Se encarga de recopilar y gestionar el flujo de datos de los sensores. Monitoriza el ciclo de vida de los mismos y envía los datos al módulo de Detección (que comprueba si, a partir de las mediciones obtenidas, el usuario se encuentra en un episodio de estrés) y de Almacenamiento (que registra las mediciones y crea ficheros donde se guardarán para su envío posterior). Este módulo establece una ventana de tiempo, independiente a las marcadas por cada sensor para realizar sus mediciones, y una vez se llega al término de la misma se recopilan todas las mediciones obtenidas hasta el momento y se envían a los subsistemas mencionados. Tras ello, se reinicia y repite dicho comportamiento. Este subsistema consta de varios módulos, basados en los sensores más comunes entre los *smartwatches* de Android [RSFS5, RSN1].

5.4.1.1. Pulsómetro

Recopila los datos del sensor de pulso cardíaco. Este sensor devuelve la media de pulsaciones por minuto calculada a partir de las pulsaciones detectadas en una ventana de tiempo cuyo tamaño depende del fabricante de cada sensor. Por ejemplo, si el fabricante establece una ventana de tiempo de 10 segundos y se detecta en ese periodo 20 pulsaciones, el sensor dirá que el usuario se encuentra a 120 pulsaciones por minuto. Estas medidas serían las que recibe la aplicación periódicamente, con un espacio entre cada medida igual a la ventana de tiempo. Con cada una de esas medidas, además, se

obtiene el *timestamp* y la precisión en forma de cifra numérica (del 0, mínima precisión, a 3, precisión máxima) [RSFS1].

5.4.1.2. Acelerómetro

Recopila los datos del sensor de movimiento del usuario. Este sensor proporciona mediciones dentro de una ventana de tiempo que se inicia cuyo comienzo da lugar cuando se detecta movimiento. Debido a que se trata de una medida de carácter continuo, la discretización (y, por tanto, la frecuencia con la que devuelve medidas y la sensibilidad del detector de movimiento) viene dada por el fabricante del *smartwatch* y del sensor. Esto se debe a que un muestreo con alta frecuencia da medidas de gran precisión, pero también requiere mayor capacidad de cómputo, y el balance entre un acelerómetro preciso y una gestión energética eficiente del *smartwatch* se realiza al diseñar el dispositivo. Estas medidas tienen componentes espaciales X, Y y Z, y también proporcionan un dato de precisión y *timestamp*. Los valores de precisión estarán entre el 0 (mínima precisión, medida desechable) y 3 (máxima precisión) [RSFS2].

5.4.1.3. Giroscopio

Recopila los datos del sensor de giro. Mide otro tipo de movimiento: el de giro del dispositivo. Devuelve mediciones dentro de una ventana de tiempo cuyo comienzo da lugar cuando se detecta giro, tomando como referencia el centro del sensor ubicado en el reloj. De forma análoga al acelerómetro, la frecuencia y sensibilidad de este sensor vienen dadas por decisión del fabricante del sensor y el *smartwatch*. También son medidas triaxiales acompañadas de *timestamp* y precisión, con el mismo rango y semántica que el acelerómetro [RSFS3].

5.4.1.4. Podómetro

Este sensor emite un pulso cada vez que se detecta un paso. En cada una de estas mediciones, se registra también el *timestamp* y la precisión, cuya semántica se refiere a la fiabilidad con la que el movimiento detectado representa un paso. Cuando la precisión sea 0, se habrá detectado un movimiento con similitud mínima a un paso, y 3 cuando se trate con certeza de un paso, según el criterio de implementación del sensor [RSFS4].

5.4.2. Gestor de eventos

Se encarga de recopilar todas las interacciones explícitas que realiza el usuario con el dispositivo una vez la aplicación está en marcha. También recoge el estado de ejecución de la regulación (iniciada, finalizada, descartada, etc.). Aunque este subsistema es el que recopila toda esta información, parte de su funcionalidad reside en el subsistema de Regulación, ya que es el que incluye el hilo principal con la vista de la aplicación, y algunos datos de interacción sólo se pueden obtener accediendo a él. Una vez recopilados todos los eventos deseados, se clasifican y se les da un formato textual para su envío al subsistema de Almacenamiento (ver Figura 5.4).

timestamp	tag
1465982960971	EVALUACION_NEGATIVA 86.5
1465983592465	EVALUACION_NEGATIVA 81.4
1465983622477	EVALUACION_NEGATIVA 85.13333333333334
1465983652589	EVALUACION_NEGATIVA 72.16666666666667
1465983682695	EVALUACION_NEGATIVA 79.83333333333333
1465983712823	EVALUACION_NEGATIVA 86.33333333333333
1465983742949	EVALUACION_POSITIVA 97.20689655172414
1465983743043	INICIO_REGULACION
1466549505426	TOQUE
1466549515910	TOQUE
1466549767184	TOQUE
1466549967184	FIN_REGULACION

Figura 5.4. Ejemplo de registro de eventos tras su recopilación y extracción

5.4.3. Almacenamiento

Guarda la salida de los subsistemas de Gestión de sensores y Gestión de eventos en ficheros de texto. Los sensores se vuelcan a texto de forma separada por sensor (ver ejemplo de fichero de registro para datos del acelerómetro en Figura 5.5), mientras que todos los eventos se vuelcan en el mismo fichero. Este subsistema cuenta con un módulo que distribuye la carga computacional de la gestión de ficheros (teniendo en cuenta que, si la aplicación está en marcha varias horas, el volumen de datos a recoger será considerable), de tal forma que la creación y recopilación de ficheros se haga en segundo plano [RSN3]. Este módulo vigila también el ciclo de vida de la aplicación, en previsión de cierres inesperados o apagados repentinos de la aplicación que puedan suponer un problema para la integridad de los ficheros de registro [RSFE2, RSN4, RSN5].

timestamp	accuracy	x	y	z
1466153616287	3	0.61138916	2.9715729	8.400253
1466153616289	3	0.67803955	3.0168	8.307419
1466153616301	3	0.5090332	3.0953522	8.228867
1466153616307	3	0.5090332	3.004898	8.293137
1466153616339	3	0.6399536	2.9691925	8.512131
1466153616339	3	0.6899414	2.9668121	8.640671
1466153616343	3	0.74468994	2.6621246	8.619247
1466153616355	3	0.77801514	2.6526031	8.873947
1466153616361	3	0.90893555	2.7240143	9.209579
1466153616372	3	0.9351196	2.5907135	9.390488
1466153616392	3	1.0160522	2.490738	9.426193
1466153616392	3	1.0255737	2.543106	9.390488
1466153616401	3	1.06604	2.6478424	9.219101
1466153616411	3	0.9803467	2.7787628	9.035812
1466153616422	3	0.9946289	2.774002	9.1905365
1466153616431	3	1.3397827	2.6978302	9.238144
1466153616441	3	1.3183594	2.8001862	9.233383
1466153616452	3	1.2636108	2.9239655	9.161972

Figura 5.5. Ejemplo de registro de los sensores tras su recopilación y extracción

5.4.4. Transmisión de ficheros

Este subsistema recibe como entrada los ficheros de texto del subsistema de Almacenamiento, los fragmenta en subficheros de 100KB y los envía a través de Bluetooth cuando la herramienta del autor, desde el *smartphone*, solicite la sincronización. Este proceso se detallará más adelante. Cuando todos los ficheros han sido enviados al *smartphone*, la aplicación los borra para evitar saturar el espacio de almacenamiento del dispositivo [RSFE3].

Por otra parte, este subsistema también es el encargado de recibir la nueva regulación cuando se produce dicha sincronización. Para ello, se borra la anterior (y los recursos asociados, como se explicará más adelante) y se sustituye por la nueva. Esta regulación se envía al subsistema de Regulación para su reconstrucción y despliegue [RSFE2].

5.4.5. Detección de estrés

Dado que la detección de episodios de estrés es de carácter complejo, este módulo se ha implementado de la forma más flexible posible. Consta de dos submódulos:

5.4.5.1. Clasificador

Recibe los datos de los sensores recopilados al término de una ventana de tiempo y decide si representa un cuadro de estrés o no, de forma binaria. En caso positivo, envía un mensaje al módulo de Regulación para que inicie las estrategias. Si la clasificación tiene resultado negativo, se pasa a la siguiente ventana y se vuelve a realizar la clasificación. Los clasificadores en tiempo real suponen un reto de capacidad computacional y de cálculo para un dispositivo de estas características, por lo que, en lugar de implementar un clasificador fijo (que requeriría tomar una decisión con fundamento teórico y basado en evidencias que están fuera del ámbito de esta Tesis por alcance y área), se ha optado por preparar el módulo para que acepte desde un clasificador implementado con Weka como unos cálculos establecidos programáticamente, por ejemplo. De esta forma, si se proponen en la literatura modelos de aprendizaje automático² adaptados a la capacidad de los *smartwatches* o los usuarios del sistema deseen integrar uno entrenado con sus usuarios en concreto, puedan hacerlo [RSN1]. En el Capítulo 6, describimos las decisiones que se realizaron para llevar a cabo los experimentos con usuarios reales en su contexto.

5.4.5.2. Calculador

Los clasificadores y modelos de aprendizaje automático, por norma general, no reciben como entrada los datos sin procesar de los sensores. En su lugar, piden cálculos agregados de los mismos, combinaciones lineales o resultados de estadística descriptiva como atributos de entrada para realizar la clasificación. De nuevo, estos cálculos pueden ser pesados para el *smartwatch*, pero resultan inevitables para el funcionamiento del clasificador. En ningún caso su proceso puede acaparar el hilo principal de la aplicación, por lo que este módulo se encarga de gestionar actividades en hilos para que estos cálculos se hagan en segundo plano.

5.4.6. Regulación

Este subsistema recibe la regulación del subsistema de Transmisión de ficheros, y que a su vez proviene de la última sincronización del *smartwatch* con el *smartphone*. Esta regulación estará compuesta por un fichero JSON que describe su estructura (estrategias y pasos que contiene, secuencia en el que se presentan y modos de configuración) y un conjunto de imágenes. En la sección 5.6 se detalla la composición de las

²Un modelo de aprendizaje automático es un sistema que recibe como entrada unos datos de entrenamiento con el objetivo de clasificar futuros datos a través de algoritmos como redes neuronales, kNN, árboles de decisión, SVMs, etc.

regulaciones en este formato. Este subsistema se encarga de reconstruir dicha regulación y llevarla al hilo gráfico de la aplicación para que la muestre cuando se detecte el episodio de estrés [RSFE1]. También incluye la funcionalidad necesaria para mantener el estado de la misma en todo momento y restaurar la aplicación en el punto en el que se encontraba si el usuario cierra la aplicación por accidente o bloquea el dispositivo.

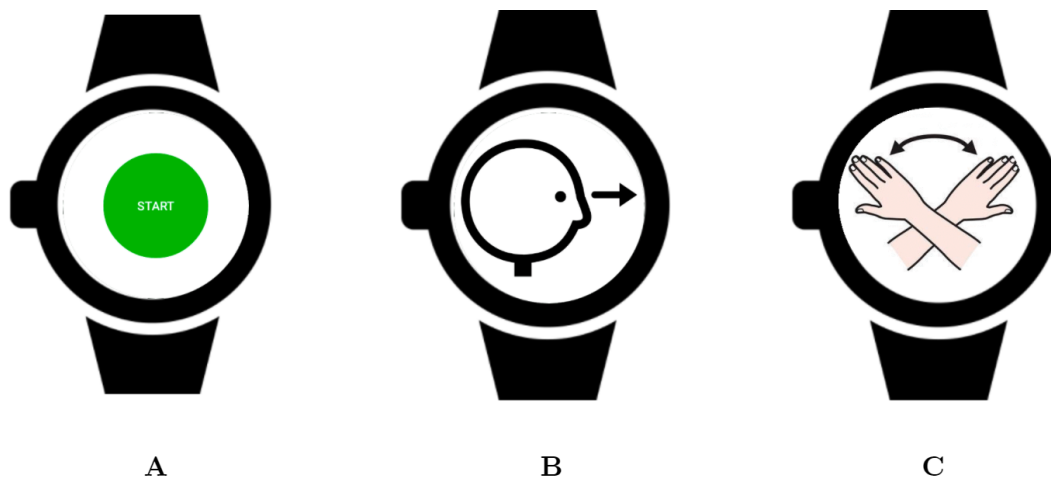


Figura 5.6. Capturas de Taimun-Watch en reloj: A. Puesta en marcha, B. Ejemplo de inicio de regulación, C. Ejemplo de fin de regulación

Este subsistema, por tanto, contiene todo el aspecto visual de la parte *smartwatch* de Taimun-Watch. Cuando se inicia la aplicación, muestra al usuario, de forma sencilla, un botón para que se ponga en marcha toda la actividad de la aplicación (Figura 5.6.A). Esto lo puede realizar el educador o el propio usuario. En cuanto se pone en marcha, la aplicación se puede cerrar sin problema, ya que toda la actividad necesaria para que se active la regulación en un episodio de estrés se realizará en segundo plano. Se puede detener la aplicación pulsando el mismo botón durante 10 segundos (para prevenir que el usuario la cierre por accidente). En las Figuras 5.6.B y 5.6.C podemos ver, respectivamente, un paso clásico de inicio de estrategia y otro de finalización.

Como se detallará en secciones posteriores, las estrategias de la regulación se podrán configurar con temporizadores. En las Figuras 5.7.A y 5.7.B podemos observar cómo aparecería un paso con un temporizador de llenado de pantalla y otro circular, respectivamente. Como se pretendía en los requisitos, la aplicación también permite el uso de imágenes animadas en formato .GIF (Figura 5.7.C). Para algunos usuarios se puede configurar que selecciones sus propias estrategias de autorregulación, que se mostrarán a modo de lista con una pequeña imagen (preferiblemente pictograma) representativo (Figura 5.8.A). Por último, la Figura 5.8.B muestra cómo el usuario vería en el reloj la pregunta (opcional, configurable) que se le haría al final de su regulación para que realizase una autoevaluación de su estado de calma o estrés.



Figura 5.7. Capturas de Taimun-Watch en reloj: A. Ejemplo de paso con temporizador de llenado, B. Ejemplo de paso con temporizador circular, C. Ejemplo de paso con imagen animada

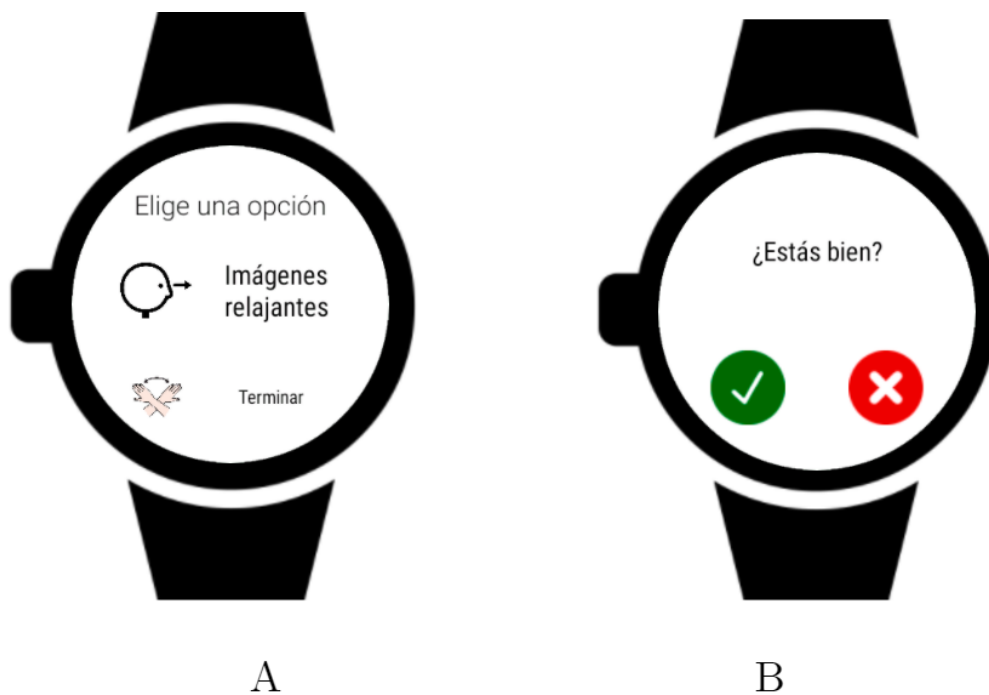


Figura 5.8. Capturas de Taimun-Watch en reloj: A. Ejemplo de selector de estrategias, B. Autoevaluación,

5.5. Aplicación de *smartphone*: herramienta de autor

La estructura de la herramienta de autor se basa en el paradigma de *Activities* y *Fragments* en el que se basan la mayoría de las aplicaciones de Android. En este paradigma, la aplicación se divide en *Activities* que integran tanto la apariencia de un segmento de la aplicación como su lógica. Por tanto, a diferencia de la aplicación del *smartwatch*, el usuario interviene en todos los subsistemas de la aplicación, pues hacen referencia a la navegación y la edición del contenido. En la Figura 5.9 podemos ver los subsistemas que componen la herramienta de autor, y en la Figura 5.11.A podemos ver el menú inicial que se puede ver cuando el usuario abre la aplicación, que además permite desplegar un menú lateral (Figura 5.10.A).

A continuación describiremos la funcionalidad de cada uno de ellos utilizando capturas de ejemplo y los justificaremos con los requisitos propuestos al inicio del Capítulo.

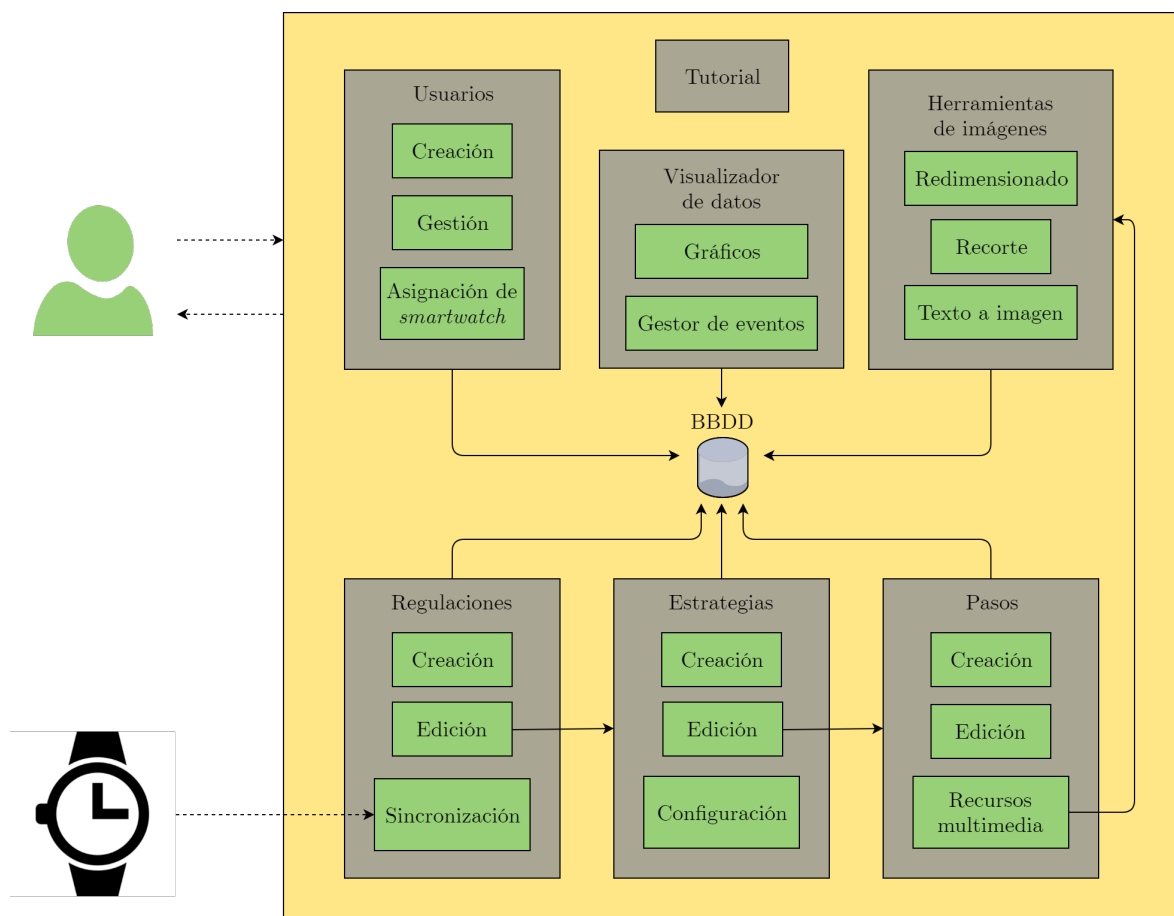


Figura 5.9. Subsistemas de la herramienta de autor

5.5.1. Gestión de usuarios

Este subsistema permite al usuario crear perfiles para acceder a la aplicación [RAFU2]. Estos perfiles contienen un nombre, una foto de perfil y un *smartwatch* asignado a través de la interfaz de Android Wear (Figura 5.10.B) [RAFU1, RAFU3]. La aplicación siempre tendrá un usuario marcado como activo (Figura 5.10.A), a cuyo *smartwatch* asignado se enviará la regulación y del que se recibirán los ficheros de registro cuando se realice una sincronización [RAFU4, RAFU5]. Sea cual sea el usuario marcado como activo, se podrá cambiar este rol consultando la lista de usuarios (Figura 5.10.C) a través del menú lateral en cualquier momento [RAFU6, RAFU7].

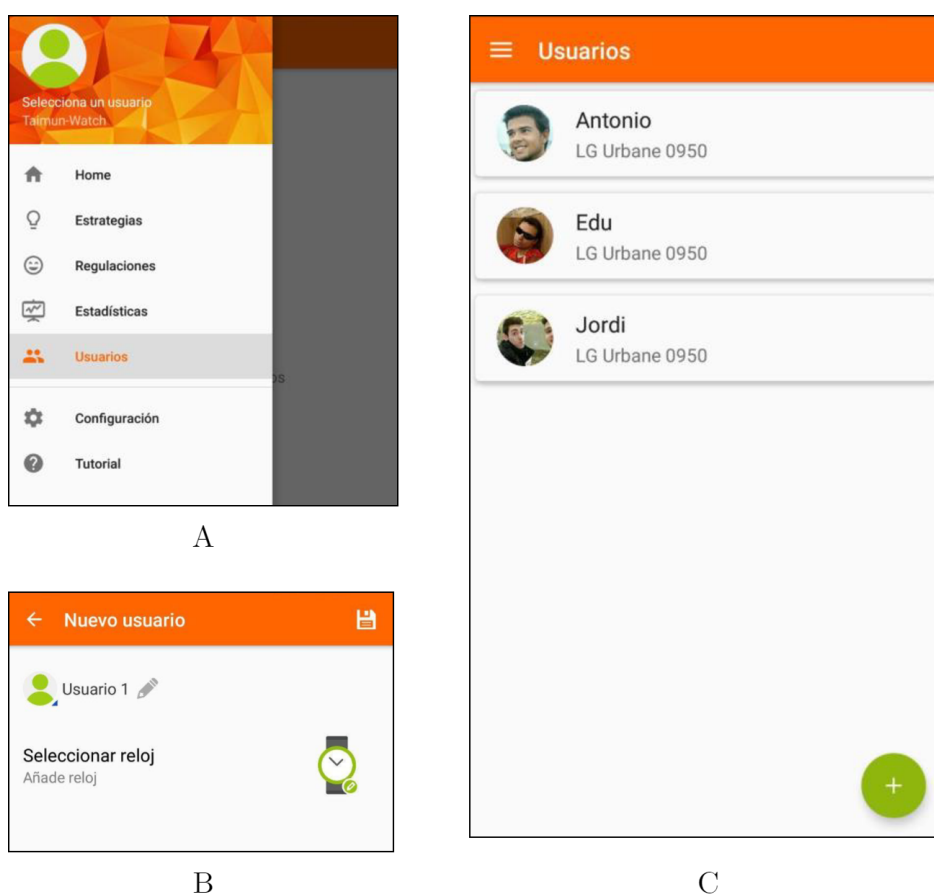


Figura 5.10. Capturas de la herramienta de autor: A. Menú lateral, B. Creación de usuario nuevo, C. Lista de usuarios

5.5.2. Gestor de regulaciones

Desde el menú inicial se puede acceder a la lista de regulaciones disponibles (Figura 5.11.B) [RAFR1]. Las regulaciones tiene un nombre asignado, una imagen (se le

asigna una de forma predeterminada si no se selecciona ninguna) [RAFR2] y contienen una lista de estrategias, que se puede modificar cuando se pulsa en la regulación (Figura 5.11.C) [RAFR3]. Al crear una regulación, se pregunta al usuario si desea que el *smartwatch* vibre cuando se inicie, y si desea que el portador del *smartwatch* pueda escoger la estrategia que desea realizar de entre las que contiene dicha regulación [RAFC7, RAFC8]. Las regulaciones tienen a la derecha un botón de sincronización, que envía dicha regulación al *smartwatch* del usuario marcado como activo, y obtiene los ficheros de registro del mismo (Figura 5.11.B) [RAFR4]. De esta forma, los educadores pueden diseñar y almacenar varios métodos de regulación, disponibles para todos los usuarios, y que pueden intercambiar fácilmente a través del mecanismo de sincronización.



Figura 5.11. Capturas de la herramienta de autor: A. Menú inicial, B. Lista de regulaciones, C. Lista de estrategias

5.5.3. Gestor de estrategias

Se puede acceder a la gestión de estrategias desde el menú principal (Figura 5.11.A) [RAFE1]. También se puede ver la lista completa de estrategias cuando pulsamos en una regulación de la lista de regulaciones (Figura 5.11.B), y deseamos añadir una estrategia a la misma (Figura 5.11.C) [RAFE2]. Tener una lista completa de estrategias permite a los educadores reutilizarlas, añadir modificaciones y gestionar eficientemente los apoyos que se proporcionan a cada usuario sin tener que elaborar el mismo contenido repetidas veces. Estas estrategias también tienen asignado un nombre y una imagen (con una predeterminada si no se selecciona ninguna). De esta forma, un sólo educador podrá crearse un banco de estrategias que podrá combinar para crear los distintos métodos de regulación que sincronizará con los *smartwatches* que llevarán puestos los estudiantes que tenga a su cargo. Cuando se pulsa una estrategia de la lista, se modifican los pasos que contiene. A continuación veremos el funcionamiento del editor de

pasos.

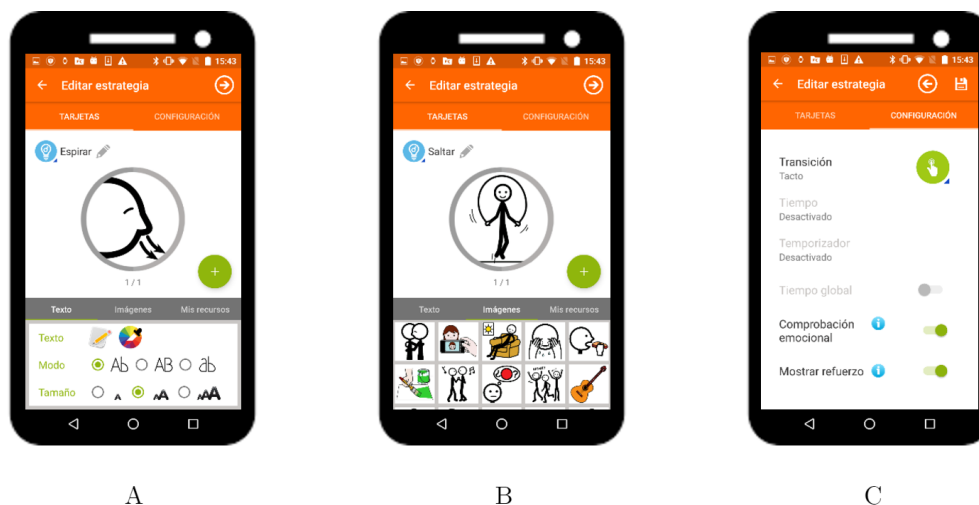


Figura 5.12. Capturas de la herramienta de autor: A. Edición de paso (submenú de texto), B. Edición de paso (submenú de pictogramas), C. Configuración de la estrategia

5.5.4. Editor de pasos

Los pasos son la unidad atómica de información de los métodos de regulación para la autorregulación emocional que se elaboran con esta herramienta. Una estrategia se compone de una secuencia de pasos [RAFP1], que se presentan como “tarjetas” para el usuario de la aplicación. Este editor permite crear la secuencia de pasos, que constan de texto o imagen [RAFP2]. Al texto se le puede dar cierto formato: si es en mayúsculas, minúsculas o combinado, el tamaño, color y contenido del texto (Figura 5.12.A). Todos los cambios realizados se verán en todo momento en el editor [RAFP3]. Se pueden añadir pasos nuevos pulsando en el botón de añadir, y se pueden agregar, como máximo, 15 pasos a la estrategia [RAFP4]. Los expertos señalaron que, de esta manera, se daban posibilidades suficientes para cubrir las necesidades de individuos con TEA, que cuentan con un rango amplio de capacidad de lectoescritura, manteniendo la interfaz simple y limpia, y que siga siendo usable para los educadores. Por otra parte, se pueden utilizar pictogramas de un conjunto predefinido que viene integrado en la aplicación. Estos pictogramas son de ARASAAC, seleccionados por los expertos del centro Alenta como los más utilizados para las estrategias de intervención para la autorregulación emocional (Figura 5.12.B). Sin embargo, también se permite utilizar imágenes de la galería (también con formato GIF, para incluir animaciones en las estrategias si resulta conveniente) o tomadas con la cámara. Estas tres posibilidades (texto, pictogramas y recursos propios) se muestran de forma intuitiva en un submenú horizontal visible en todo momento en la parte inferior de la pantalla. La aplicación incluye varias herramientas internas para darle el formato adecuado a estas imágenes y

adaptarlas a la pantalla del *smartwatch*. Tras editar la secuencia de pasos, o en cualquier momento durante el proceso, el educador puede editar las opciones de configuración de la estrategia (Figura 5.12.C) [RAFO6]. Estas opciones son:

- **Transición:** indica si el portador del *smartwatch* podrá avanzar en la secuencia de pasos tocando en la pantalla, deslizando el dedo sobre ella o si avanzará automáticamente pasado un tiempo. Esta opción está pensada para adaptarse a las capacidades interactivas de cada usuario, dentro de las posibilidades limitadas que ofrece la pantalla de un *smartwatch* [RAFC4].
- **Tiempo:** si la transición por tiempo está activada, es la cantidad de tiempo que se muestra cada paso (o toda la estrategia, si está activado el *Tiempo global*). Los pasos con tiempo son necesarios para estrategias de intervención como la respiración en dos fases o el uso de elementos distractores (un juego, música) durante un tiempo definido.
- **Temporizador:** permite seleccionar el tipo de temporizador: circular o de llenado de pantalla. Se trata de dos metáforas visuales para indicar el paso de tiempo que se utilizaban previamente en estrategias de intervención [RAFC6].
- **Tiempo global:** si esta opción está activada, la cantidad de tiempo establecida anteriormente se aplica a toda la estrategia, y el usuario puede navegar libremente entre dichos pasos durante ese tiempo. Cuando acabe, se pasará a la siguiente estrategia de la regulación, si la hubiera [RAFC5].
- **Comprobación emocional:** si se activa, incluye un paso final para que el usuario evalúe su estado emocional al final de la estrategia con una pregunta binaria simple. Esta respuesta se comparará con el resultado del clasificador en ese momento, y ambos datos quedarán registrados en los ficheros de registro [RAFC2, RAFC3].
- **Mostrar refuerzo:** incluye otro paso final con un mensaje positivo en forma de pictograma [RAFC1].

5.5.5. Visualizador de datos

Este subsistema permite que los educadores o familiares observen los datos que devuelve el *smartwatch* cuando se sincronizan los dos dispositivos [RAFV1, RAFV9]. A través de una herramienta a modo de calendario, los usuarios pueden filtrar por fechas y visualizar los datos de un día concreto (Figura 5.13.A) [RAFV2, RAFV3, RAFV4]. Estos datos tienen dos modos de visualización [RAFV5]. En la visualización básica (Figura 5.13.B), pueden ver unas pequeñas tarjetas que indican qué regulación

5.5. APLICACIÓN DE SMARTPHONE: HERRAMIENTA DE AUTOR

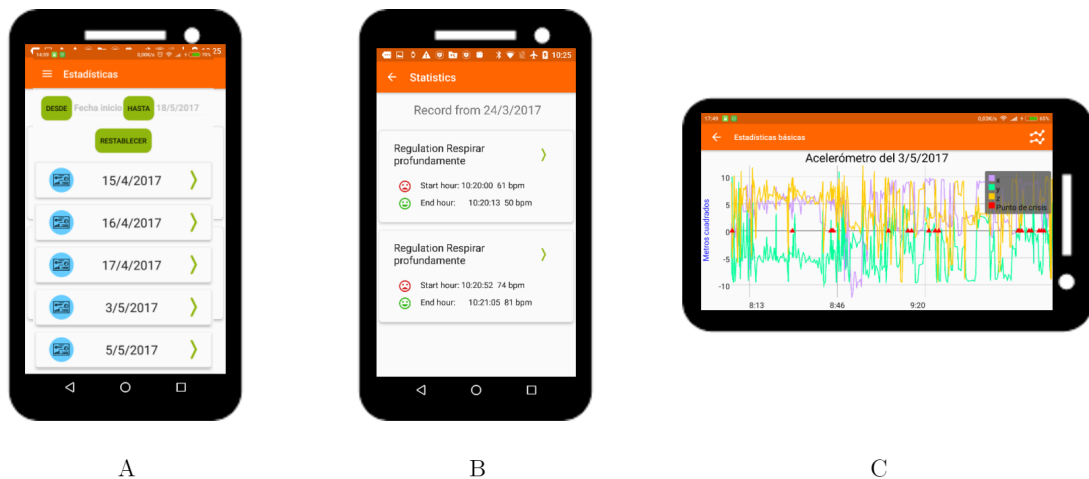


Figura 5.13. Capturas de la herramienta de autor: A. Calendario de eventos, B. Visualizador básico de eventos, C. Visualizador avanzado de eventos

estaba programada en el *smartwatch* y a qué hora se activó [RAFV6]. Si pulsan en dicha tarjeta, acceden al visualizador avanzado (Figura 5.13.C), que permite ver la evolución de las señales monitorizadas por los sensores [RAFV7] (se pueden elegir cuáles se desean visualizar [RAFV8]) en el momento en el que se sucedían los episodios de estrés y las regulaciones. Esta funcionalidad es fundamental para que los usuarios de la aplicación puedan ver el efecto que tienen las estrategias creadas en los individuos con TEA, y modificarlas o crear otras nuevas convenientemente para cubrir sus necesidades de asistencia.

5.5.6. Tutorial y configuración de la aplicación

El tutorial es una breve sección a la que se puede acceder en todo momento desde el menú lateral, y muestra una secuencia de imágenes que explican los elementos de la aplicación de forma sencilla para que el usuario pueda hacer uso de ella rápidamente (Figura 5.14.A) [RAFO5]. Desde el menú lateral también se puede acceder a dos opciones de configuración adicionales: realizar un *backup* de los datos (regulaciones, estrategias, pasos y ficheros de registro) [RAFO1, RAFO2, RAFO3] y activar la protección del acceso a la aplicación con un código PIN (Figura 5.14.B) [RAFO4].

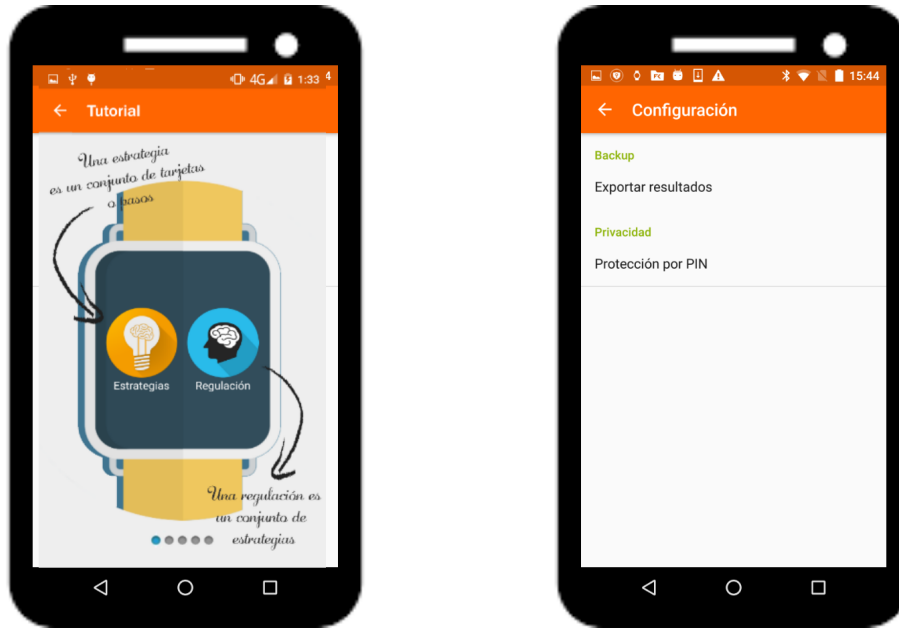


Figura 5.14. Capturas de la herramienta de autor: A. Tutorial, B. Backup y protección con PIN, C. Visualizador avanzado de eventos

5.6. Comunicación entre dispositivos

Es necesario definir un protocolo de comunicación que articule la transmisión de datos entre el *smartwatch* y *smartphone* [RG4]. El *smartwatch* envía los ficheros con los datos recogidos de los sensores durante el funcionamiento de Taimun y los registros de uso de las estrategias [RSFS5, RSFE2, RSFE3]. El *smartphone*, por su parte, envía la regulación que pertenece al *smartwatch* asociado al usuario activo en un momento determinado [RAFR4, RAFO3]. Por tanto, el protocolo de datos debe garantizar que ambos conjuntos de datos se envíen en el mismo momento, por lo que el protocolo describirá una sincronización entre los dos dispositivos.

Para que se produzca el envío de las regulaciones se necesita un mecanismo que las convierta a un formato transmisible y adjunte las imágenes para su envío. Este mecanismo se tiene que reproducir a la inversa en el *smartwatch* para ensamblar de nuevo las instrucciones en el receptor. El formato escogido para convertir y transmitir las regulaciones es JSON. En la lista de regulaciones que se muestra cuando se selecciona el usuario activo en la herramienta de autor, aparece un botón a la derecha de cada una, cuya funcionalidad es sincronizarla con el *smartwatch* asociado (esta navegación se verá con detalle cuando se describa la herramienta de autor). Este botón activa el mecanismo que convierte la regulación a formato JSON y lista de imágenes e inicia el protocolo de comunicación [RAN5].

5.6.1. Conversión de las regulaciones para el envío

Para convertir la regulación una vez iniciada la sincronización, se crea una carpeta temporal dentro del contexto de la aplicación [RAN8], donde se almacenan los archivos que conforman la regulación que se va a enviar. A continuación se crea el fichero JSON en dicha carpeta, y se recorren los pasos que conforman cada estrategia de la regulación. Dependiendo del tipo de paso, se realizan acciones distintas:

Pictograma predeterminado: si el paso está compuesto por una imagen del banco de pictogramas de la herramienta, se copia a la carpeta temporal desde los recursos de la aplicación y se identifica con su *id* de recurso.

Recurso propio: si el paso está compuesto por una imagen tomada de un recurso externo de la aplicación, se copia desde su ubicación a la carpeta temporal y se identifica por su posición en la tabla de recursos propios de la base de datos de Taimun.

Texto: si el paso consta de una indicación textual, se convierte a imagen con formato PNG y se copia a la carpeta temporal.

5.6.2. Fichero JSON de regulaciones

Las regulaciones se representan en el fichero JSON como un *array* de números que son los identificadores de las estrategias que las conforman, además de unos campos clave-valor que proporcionan los datos de configuración (ver Ejemplo 5.1). Estos campos son:

- **Id:** identificador de la regulación.
- **Name:** nombre de la regulación.
- **Vibration:** indica si está activada la vibración o no [RAFC7].
- **Audio:** indica si está activado el pitido.

Y en la estrategia:

- **Id:** identificador de la estrategia.
- **Name:** nombre de la estrategia.

- **Icon**: indica el nombre del icono que representa la estrategia si se mostrase en una lista.
- **Time**: tiempo de visualización de la estrategia, en el caso de que *isGlobalTime* esté activado [RAFC5].
- **isGlobalTime**: indica si esta estrategia consiste en un conjunto de pasos en los que se puede navegar libremente durante un tiempo determinado [RAFC7].
- **StressCondition**: indica si, al finalizar de la estrategia, se debe comprobar el nivel de estrés del usuario [RAFC2].
- **Question**: indica si, al finalizar las estrategia, se debe preguntar al usuario si se encuentra calmado [RAFC3].
- **TimerType**: si este campo tiene el valor 1, se mostrará el temporizador circular, y si tiene el calor 2, se utiliza el temporizador de llenado de pantalla [RAFC6].
- **Reinforcement**: indica la imagen que se utilizará al final de la estrategia como refuerzo positivo. Si no se especifica ninguna, no habrá refuerzo positivo [RAFC1].
- **Steps**: el *array* de imágenes que representan los pasos de la estrategia.

Código 5.1. Ejemplo completo de fichero JSON con regulación

```
1 {
2   "Regulation": {
3     "Id": 15,
4     "Name": "Ejemplo",
5     "Vibration": true,
6     "Audio": null,
7     "RegulationSchedule": [
8       1,
9       2,
10      3
11    ],
12    "Strategies": [
13      {
14        "Id": 1,
15        "Name": "Mira imágenes",
16        "Icon": "two.png",
17        "Time": 0,
18        "isGlobalTime": false,
19        "StressCondition": false,
20        "Question": 0,
21        "TimerType": 0,
22        "Reinforcement": "",
23        "Steps": [
24          "picto1.png",
```

```

25 "picto2.png"
26 ]
27 },
28 {
29 "Id": 2,
30 "Name": "Temporizador circular 20s",
31 "Icon": "one.png",
32 "Time": 20,
33 "isGlobalTime": false,
34 "StressCondition": false,
35 "Question": 0,
36 "TimerType": 1,
37 "Reinforcement": "",
38 "Steps": [
39 "picto3.png",
40 "picto4.png"
41 ]
42 },
43 {
44 "Id": 3,
45 "Name": "Temporizador llenado 20s",
46 "Icon": "one.png",
47 "Time": 20,
48 "isGlobalTime": false,
49 "StressCondition": false,
50 "Question": 0,
51 "TimerType": 2,
52 "Reinforcement": "",
53 "Steps": [
54 "picto5.png",
55 "picto6.png"
56 ]
57 ]
58 }
59 }
60 }

```

El campo *RegulationSchedule* representa el modo en el que se disponen las estrategias en la regulación. De forma genérica, se realizarán las estrategias de forma secuencial, en el orden en el que están escritas. Si, por otra parte, hay un *subarray* dentro del *array*, el *smartwatch* lo interpretará como que debe mostrar al usuario una lista para que seleccione la que desea realizar [RAFC8], y a continuación seguir con las que hubiera en el *array* principal, si quedan. En el Ejemplo 5.2 mostramos una regulación en la que, en primer lugar se llevaría a cabo la estrategia que el usuario escogiese de entre la 1, 2 y 3 y, a continuación, se realizarían la 4 y la 5, en orden. Se pueden realizar tantos subniveles como se desee, teniendo en cuenta la potencial complejidad que podría tener dicha regulación para el usuario.

Código 5.2. Fragmento de JSON con estrategias seleccionables

```
1  {
2  [...]
3
4  "RegulationSchedule": [
5  [
6    1,
7    2,
8    3
9  ],
10 4,
11 5
12 ],
13
14 [...]
15 }
```

5.6.3. Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación se basa en el envío y la recepción de mensajes y paquetes de datos, utilizando la MessageAPI (que permite que los dispositivos se envíen mensajes) y la DataAPI (que permite que los dispositivos se envíen datos) de Android.

Los mensajes sirven para enviar información de control al otro extremo a través de la *MessageAPI*. Son ejemplos de información de control el inicio de una transacción o una petición de reenvío de datos. En Android, la función *onMessageReceive* de la API de Android Wear es llamada de forma automática cada vez que se recibe un mensaje por el canal de comunicación. Esta función tiene dos campos: el *PATH*, que identifica el tipo de mensaje del que se trata en cada ocasión, y el *MESSAGE*, con el mensaje propiamente dicho. A continuación describiremos los diferentes *PATH* que hemos definido para el protocolo:

- **MOB_TO_WEAR:** es el mensaje inicial del *smartphone* al *smartwatch*, y que solicita el comienzo de la sincronización.
- **WEAR_TO_MOB:** es la respuesta al anterior, y contiene dos posibles mensajes, *NOT_READY_TO_SYNC* y *READY_TO_SYNC*, que indican si está preparado para sincronizar datos.
- **START_SYNC_LOG_FILES:** este mensaje se envía desde el *smartphone* para solicitar al *smartwatch* que comience a enviar los registros.

- **SEND_LOG_FILE_AGAIN:** este mensaje del *smartphone* indica que ha habido un error al recibir el último bloque de datos y solicita la retransmisión.
- **NO_MORE_LOGS:** este mensaje desde el *smartwatch* le indica al *smartphone* que ha terminado de transmitir todos los registros pendientes.
- **SEND_IMAGE_FILE_AGAIN:** este mensaje del *smartwatch* indica que ha habido un error al enviar la última imagen y solicita su retransmisión.
- **SEND_NEXT_IMAGE_FILE:** este mensaje del *smartwatch* indica que se ha recibido correctamente la última imagen y solicita que se envíe la siguiente.

Los paquetes de datos que se intercambian entre los dos dispositivos son, por parte del *smartwatch*, los ficheros de datos de los sensores y, por parte del *smartphone*, las regulaciones. Estos datos se intercambian a través de las funciones de la *DataAPI* de AndroidWear. De forma similar a los mensajes, los datos se intercambian en paquetes con dos atributos: el *PATH* con la etiqueta descriptiva de los datos que se envían, y los datos propiamente dichos, en forma de array de bytes. Según el tipo de datos que enviemos, hemos definido dos tipos de *PATH*:

- **LOG_FILE:** el *smartwatch* indica al *smartphone* que le está enviando datos pertenecientes a ficheros de registros.
- **FILE:** el *smartphone* indica al *smartwatch* que le está enviando datos pertenecientes a imágenes de alguna estrategia.

Debido a las restricciones de tamaño de los paquetes de datos (100KB por paquete), se han implementado funciones de división y recomposición de paquetes. Una vez se reciben los registros del *smartwatch*, se recomponen y almacenan en la ubicación pertinente del *smartphone*. En el lado *smartwatch*, se recomponen los datos de las imágenes y se reensamblan las estructuras a partir de la descripción que contiene el archivo JSON (ver Figura 5.15).

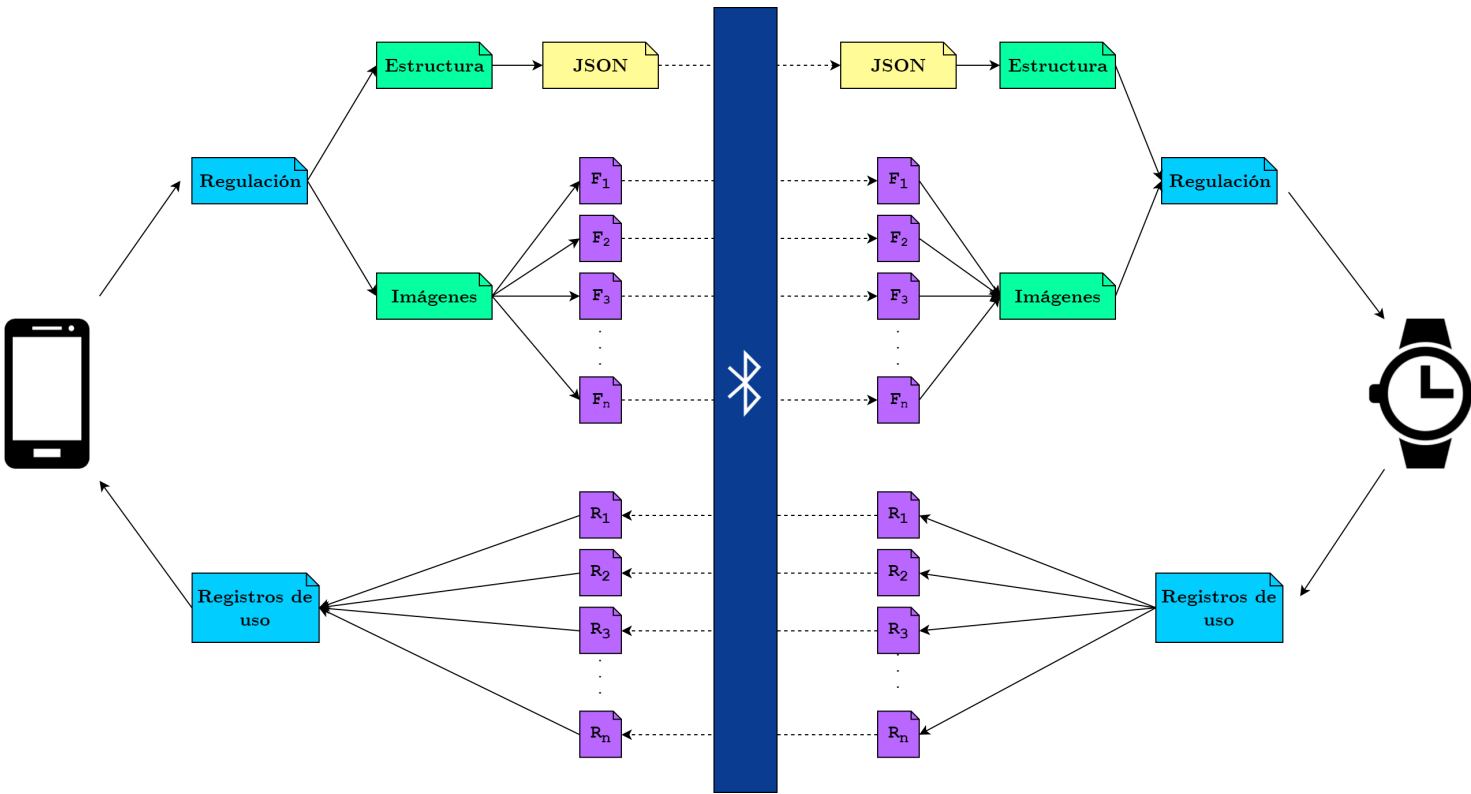


Figura 5.15. Proceso de sincronización del *smartwatch* y el *smartphone*

5.6. COMUNICACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS

Sin embargo, basar la identificación de los mensajes sólo en las etiquetas del atributo *PATH* no basta para que los mensajes y bloques de datos se envíen únicamente al *smartwatch* asignado al usuario marcado como activo en el *smartphone*. Esto es debido a que, de haber más *smartwatches* conectados al mismo tiempo al teléfono, la información se mandaría a todos ellos, y habría duplicación de mensajes en el protocolo de comunicaciones, que acabaría funcionando incorrectamente. Por ello, también se añade al atributo *PATH* el número de identificación del *smartwatch* asignado al usuario activo, y que se obtienen de las preferencias de la aplicación de manera programática. De esta manera, cuando un *smartwatch* recibe un mensaje de un *smartphone*, sólo participa en la comunicación si el identificador es el suyo. En la Figura 5.16 se puede ver un ejemplo de funcionamiento del protocolo.

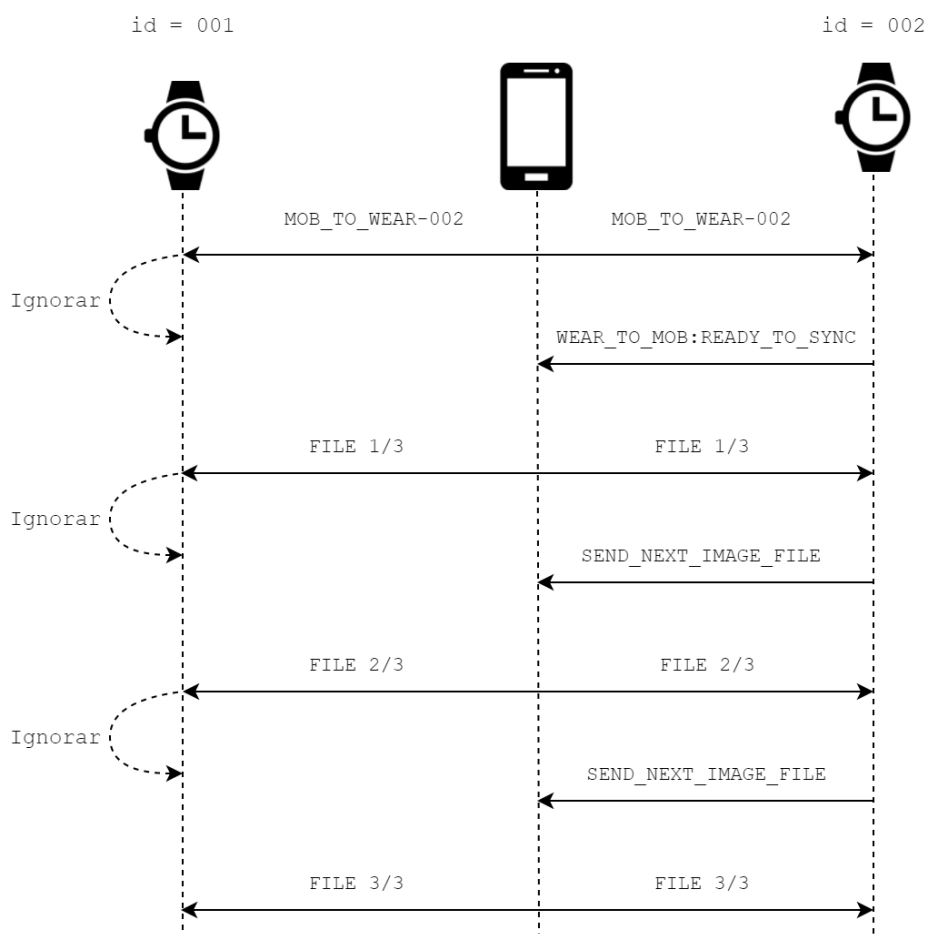


Figura 5.16. Diagrama de secuencia del protocolo de comunicación



6 Evaluación

Bajo la lenta sombra, colgada en
denso fleco, se vio el cardal con
vívidos azules florecer

Leopoldo Lugones
Salmos pluviales (1917)

6.1. Introducción

La disfunción ejecutiva que caracteriza a los individuos con TEA se manifiesta de forma variada según las circunstancias, patrones conductuales y trastornos comórbidos en cada persona. Además, el déficit de autorregulación emocional que presentan depende de los estímulos concretos que disparen conductas problemáticas y que, además, son distintos para cada individuo. Por tanto, las intervenciones diseñadas para asistir en este proceso de autorregulación deben estar adaptadas a las necesidades particulares de cada persona. Como se describió anteriormente, el sistema que se propone en esta Tesis permite hacerlo. Sin embargo, dada esta naturaleza divergente del TEA, el proceso de evaluación de este sistema debe estar altamente enfocado en los usuarios involucrados. Los resultados deben ser analizados para cada caso concreto según sus circunstancias, y la evaluación del éxito de la herramienta también, en consecuencia.

En esta Tesis vamos a describir tres experimentos realizados con usuarios finales de la aplicación, a saber:

- Usuarios con TEA

TEA de baja funcionalidad

TEA de alta funcionalidad

- Tutores o familiares de usuarios con TEA

Los usuarios con TEA llevarán el *smartwatch* con la aplicación Taimun, que, a su vez, contendrá el contenido creado a partir de la herramienta de autor correspondiente, cuya usabilidad evaluamos en un experimento adicional. A pesar de que, en todo lo que se refiere al TEA, cualquier categorización que se realice con usuarios conlleva el riesgo de eliminar aquellos matices que, desde el punto de vista psicopedagógico, definen el trastorno de cada individuo, hemos optado por hacer dos experimentos independientes con usuarios de baja y alta funcionalidad, respectivamente.

Las personas con TEA de baja funcionalidad carecen de mecanismos básicos de comunicación e interacción sociales, y requieren intervenciones exhaustivas a lo largo de su proceso educativo y de desarrollo. En ocasiones, se logran establecer dinámicas comunicativas que permiten que la persona interactúe de forma efectiva con algunos individuos de su entorno cercano, a través de pictogramas, comunicadores y gestos. Las personas con TEA de alta funcionalidad, por otra parte, son capaces de adaptarse a los patrones de interacción social comunes y comunicarse con soltura, aunque frecuentemente muestran problemas de conducta que se manifiestan a través de estereotipias y trastornos emocionales de diverso tipo.

Dentro de dichas categorías, sin embargo, el perfil sintomático puede variar enormemente. A diferencia de la mayoría de experimentos que evalúan herramientas a través de los usuarios finales, donde un número mayor de usuarios enriquece las conclusiones extraídas, en el caso de usuarios con TEA las generalizaciones no son de mucha utilidad, y es preferible observar si una herramienta es capaz de adaptarse exitosamente a un número reducido de casos particulares –y sus efectos estudiados a fondo–, de forma flexible e individualizada. Por ello, hemos realizado dos experimentos diferentes en el que estudiamos el caso de dos usuarios con perfiles diferentes dentro de su rango de funcionalidad. La intervención diseñada para cada uno de ellos también se adapta a su caso particular. Dentro de cada experimento marcaremos unos objetivos, describiremos los perfiles de los usuarios involucrados, estableceremos una metodología de evaluación y analizaremos los resultados obtenidos.

6.2. Objetivos de la evaluación

Debido a las características únicas que particularizan el TEA de cada individuo y a las razones expuestas en la introducción de este capítulo, se definen los siguientes objetivos a la hora de evaluar el sistema Taimun:

- Estudiar la forma en la que se manifiesta la disfunción ejecutiva en el usuario.
- Analizar los efectos que tiene la falta de autorregulación emocional en la conducta del individuo.
- Analizar la intervención que los educadores emplean tradicionalmente para tales propósitos, si la hubiera.
- Adaptar dichas intervenciones, de forma individualizada, al formato de nuestro sistema
- Analizar los efectos que tiene el uso de nuestro sistema en la conducta del individuo a través de la observación exhaustiva y asesorada por los expertos.
- Analizar las medidas extraídas a lo largo de cada sesión, analizadas posteriormente.

6.3. Primer experimento: TEA de baja funcionalidad

Esta prueba con usuarios se realizó en el centro de educación especial Alenta a lo largo del mes de junio de 2016. En este centro, se trabajan las distintas etapas de desarrollo de una persona con discapacidad cognitiva: edad temprana, adolescencia y vida adulta con residencias tuteladas y terapia ocupacional. Entre sus alumnos hay perfiles de TEA, de Síndrome de Down, de TDAH y otros trastornos del desarrollo. En el caso de perfiles de baja funcionalidad, se trabaja en grupos muy reducidos de alumnos y a través de la estimulación constante basada en intervenciones basadas en evidencias: actividades, juegos, planificación del día, uso de pizarra digital y tablet, etc. El experimento se llevó a cabo en uno de estos grupos. El perfil de los cuatro alumnos de esta clase se enmarca dentro de la zona de baja funcionalidad del espectro del autismo.

Inicialmente, se trató de involucrar a los cuatro estudiantes en el experimento. Sin embargo, por motivos de tipo logístico y de consentimiento, únicamente dos de ellos eran aptos para la prueba. Aunque en primer lugar se sopesó cambiar de usuarios para que un grupo entero formara parte del experimento, se decidió seguir adelante con

los dos usuarios de esa clase ya que, de esta manera, era posible observar la reacción de los estudiantes no involucrados en la evaluación al hecho de que sus compañeros llevaran y utilizaran el *smartwatch*. Esto nos permite enriquecer el experimento con observaciones de campo acerca de la **estigmatización** y la naturalidad del uso del dispositivo empleado en un entorno sensible en términos de aceptación. A continuación se estudian los perfiles de los dos usuarios involucrados con el objetivo de argumentar la intervención implementada en Taimun y el análisis de la experiencia con ellos.

6.3.1. Perfiles de usuario

Usuario A

El usuario A tiene 10 años, con TEA y discapacidad cognitiva moderada. No articula lenguaje hablado sino que emplea estrategias alternativas de comunicación: un conjunto de imágenes y pictogramas que lleva consigo para transmitir deseos y peticiones a las personas de su entorno y un comunicador adaptable personal instalado en la tablet que utiliza en horas lectivas. También utiliza algunos gestos y lleva a cabo acciones para expresar deseos y estados de ánimo, como llevar a los demás de la mano a lugares donde hay algo que quiere hacer. Necesita que los demás hagan señas y utilicen apoyos visuales para comunicarse porque su comprensión lingüística es pobre. Entiende instrucciones simples y muy contextualizadas sobre tareas cotidianas y educativas, y también necesita siempre apoyo visual para ayudarlo a anticipar diversas situaciones posibles de forma que su reacción no sea explosiva o problemática.

Este usuario mantiene vínculos emocionales fuertes con sus familiares y profesores; en definitiva, cualquier adulto que le ofrezca seguridad y los elementos que necesita o desea. Su interacción con otras personas debe ser siempre mediada por otros adultos, ya que el usuario A aparenta desinterés al respecto de sus compañeros u otros individuos de su edad y no participa de forma espontánea en actividades y juegos con los demás. Sin embargo, en ocasiones se muestra curioso e investiga elementos de su entorno cercano. Cuando se encuentra ocioso, tiende a mostrar conductas estereotípicas motoras con sus manos y con cuerdas y tiras que cuelgan de objetos próximos. Los padres reportan que este comportamiento se vuelve obsesivo y problemático en casa. Tiene una comprensión del entorno deficiente, y necesita apoyo para planificar y visualizar las actividades que debe hacer. Además, debido a sus dificultades para planificar tareas, controlar su conducta y utilizar habilidades motoras fundamentales, necesita asistencia para llevar a cabo acciones que tienen que ver con su autonomía personal. Tiene una tolerancia baja a la frustración cuando no se le permite hacer algo o no entiende lo que debe hacer; en esos casos, muestra conductas obsesivas y problemáticas: pellizca, pateo, ríe de forma descontrolada, empuja a sus compañeros o mueve las manos frenéticamente.

Su nivel curricular estimado es el equivalente al de un niño de 3 años.

Usuario B

El usuario B también tiene TEA y discapacidad cognitiva moderada. No emplea lenguaje oral y se comunica intercambiando pictogramas con las personas de su entorno: selecciona uno del bolso que lleva consigo a todas partes y lo enseña a la persona con quien desea comunicarse. Entiende instrucciones simples relacionadas con las actividades que está realizando, y también necesita apoyos visuales para anticipar situaciones que pueden darse en consecuencia de sus acciones en cada momento del día. Generalmente tiene buen humor, sonríe y muestra afecto a las personas de su alrededor y demanda su atención para darles un beso, abrazarles, comunicarles o, en ocasiones, hacerles participar en juegos repetitivos que improvisa cuando no está ocupado. También necesita intervención adulta para interactuar con compañeros y desconocidos o incluso acercarse a ellos. Durante los juegos y actividades grupales tiende a quedarse callado, inmóvil y apartado, y reacciona explosivamente cuando se le fuerza a participar.

El usuario B necesita de un entorno conocido y con la información estructurada para desarrollar con éxito sus actividades diarias a través de pictogramas, paneles informativos y agendas hechas con imágenes. Necesita mucho apoyo para realizar actividades de autonomía personal, incluso ayuda para comer. Al igual que el usuario A, tiene una baja tolerancia a la frustración, lo que le provoca rabietas frecuentes cuando tiene hambre, sed o se encuentra indispuesto. Durante estos episodios, pateo el suelo, las sillas del aula, llora y grita. Su nivel curricular es el equivalente al de un niño de 4 años.

Consideraciones generales

En líneas generales y adicionalmente a la descripción de perfiles, las características relacionadas con el TEA que definen a estos dos usuarios y que singularizan este experimento son las siguientes:

- a. Falta de habilidades de planificación y organización.
- b. Atención desproporcionada a elementos irrelevantes de una tarea.
- c. Dificultad para mantener una instrucción en mente mientras se inhiben respuestas inapropiadas.
- d. Falta de pensamiento abstracto.

- e. Literalidad.
- f. Dificultad para cambiar de entorno a la hora de realizar algunas tareas.
- g. Falta de iniciativa en la resolución de problemas.
- h. Ausencia de transferencia de conocimiento entre tareas.
- i. Inclusión de tareas sin sentido entre instrucciones.

La autorregulación emocional está relacionada con los puntos **b**, **c** y **f** de la lista. Prestar atención a aspectos irrelevantes de una tarea es un problema cuya estrategia resolutoria requiere intervención directa de los educadores, ya que el individuo mantiene una actitud férrea y muy apegada a ese tipo de acciones, lo que les genera grandes cantidades de frustración que acaban en episodios de ira y rabietas. Estas respuestas problemáticas suponen una dificultad añadida a su capacidad de retener una secuencia de instrucciones, por lo que dichas estrategias de intervención deben ofrecer secuenciación de pasos. La sensibilidad a cambios en el entorno también es una fuente frecuente de alteraciones emocionales y conductuales para este tipo de usuarios, donde las estrategias de autorregulación son necesarias.

Tanto el usuario A como usuario B están acostumbrados al uso de pictogramas para llevar a cabo ejercicios de autorregulación, así como otro tipo de actividades. Durante la clase, los educadores tienen preparados varios pictogramas en caso de que alguno de ellos, que comparten clase con otros dos compañeros, sufra un episodio de este tipo debido a cualquier estímulo.

En el caso del usuario A, estos episodios suelen darse debido a estímulos de tipo sensorial: luces que se mueven, nubes, sombras de árboles grandes, ruidos de gran volumen, etc. Las intervenciones que los educadores utilizan con él consisten en distractores visuales como vídeos llamativos en la pizarra digital o imágenes divertidas y coloridas. Debido a que estos estímulos son inevitables en la vida diaria del usuario, un apoyo para la autorregulación emocional de este individuo debe replicar esta estrategia utilizando contenidos que apelen a la hipersensibilidad del individuo.

Por otra parte, el usuario B no se altera debido a problemas de hipersensibilidad sino de frustración. Sus episodios problemáticos son más escasos, pero las estrategias que funcionan con él también son más limitadas: si no es a través de escuchar música o sonidos relajantes, es muy difícil hacer que recupere la calma cuando sufre una rabieta o enfado. A continuación, se describe la asistencia para la autorregulación emocional que se ha seguido para cada usuario, los dispositivos empleados y los resultados obtenidos.

6.3.2. Materiales

Se utilizaron dos *smartwatches* LG Watch Urbane para este experimento. Estos dispositivos cuentan con sensores cinéticos de 9 ejes (acelerómetro de 3 ejes, giroscopio de 3 ejes y brújula de 3 ejes), PPG (monitorizador de pulso cardíaco) y barómetro. En cuanto al *smartphone*, utilizamos un modelo Nexus 5. Los relojes estaban emparejados con el móvil a través de la interfaz de Android Wear. Cada uno de los relojes llevaba cargada una estrategia de autorregulación diferente.

Para el usuario A, los educadores seleccionaron un pictograma a modo de instrucción, que ya le era conocido, para indicarle que pidiera música y la escuchara. En su aula siempre tienen un ordenador disponible con auriculares en el caso de que algún alumno necesite música, vídeos o juegos para calmarse, por lo que los educadores consideraron adecuado que su estrategia de autorregulación consistiera en hacerle pedir ese recurso y utilizarlo. La instrucción estaba programada para mostrarse en pantalla durante 5 minutos, y el tiempo restante se indicaba a través de un a rueda de color azul alrededor de la pantalla de reloj que se iba vaciando a medida que el tiempo pasaba (ver Figura 6.1). Tras esto, aparecía el pictograma de fin y refuerzo positivo. Para el usuario B, los educadores diseñaron una estrategia compuesta por una secuencia de animaciones: una cascada, unas burbujas móviles de colores y una puesta de sol. La transición entre dichas animaciones se realizaba con toques en la pantalla, y al final de la secuencia se incluyó un pictograma que indicaba el fin de la misma con refuerzo positivo (ver Figura 6.2). Este pictograma, que es el mismo que en la secuencia del usuario A, contiene la versión en imagen del gesto que los educadores realizan para que ellos sepan que el usuario ha finalizado una tarea con éxito.



Figura 6.1. Estrategia de intervención para el usuario A

Todos los pictogramas empleados se corresponden con aquellos que conocen debido a su uso diario, y que a su vez son un conjunto de pictogramas creados en el propio cen-

tro y los del repositorio ARASAAC, que se utilizan en centros de educación especial de España para comunicación alternativa y aumentativa. Utilizan estos pictogramas para comunicarse con sus educadores, familia y compañeros. Ambos usuarios estaban acostumbrados a llevar relojes de muñeca anteriormente, así que no se mostraron particularmente distraídos por el hecho de llevar los *smartwatches* puestos. Además, al resto de compañeros no pareció llamarles la atención: ellos también llevaban un reloj de muñeca consigo. Este hecho evidencia el argumento que se expuso en el Capítulo 3 sobre la aceptación de la tecnología, ya que una reacción insatisfactoria ante la inclusión de un elemento tecnológico en una experiencia de corta duración (como es la que se describe aquí) se convertiría en un argumento negativo respecto a la proyección a largo plazo de dicho sistema en el contexto de sus usuarios objetivo, debido al estigma que acarrearía desde el inicio de su uso. En resumen, el dispositivo no generó rechazo en los usuarios ni en sus compañeros. La actividad de la aplicación del reloj que llevaba el usuario A fue sometida a depuración Bluetooth en tiempo real para obtener datos sobre el funcionamiento de la misma durante las sesiones y capturar información sobre cualquier error que pudiera surgir.

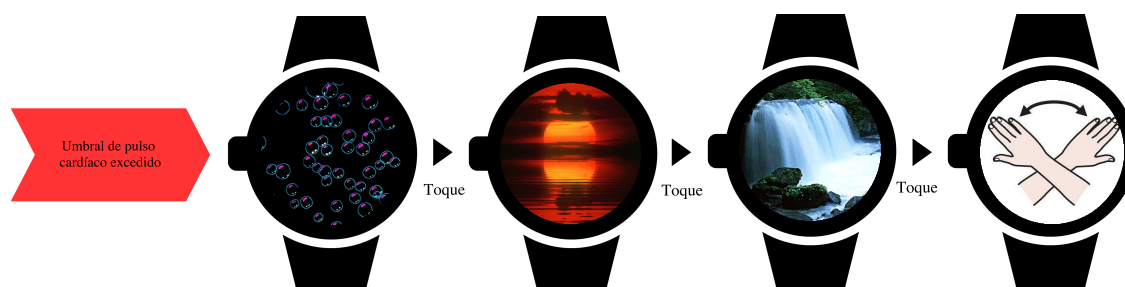


Figura 6.2. Estrategia de intervención para el usuario B

El número de usuarios incluidos en el experimento puede parecer llamativo. Es importante recordar que lo que se aborda en esta Tesis es la autorregulación emocional, un problema fuertemente relacionado con la experiencia y autoconsciencia del usuario involucrado. Por tanto, la efectividad de este sistema tiene más relación con la profundidad del estudio a nivel de usuario que con su dimensión, en un hipotético caso en el que se recogieran grandes cantidades de datos de muchos usuarios distintos. En otras palabras, el análisis exhaustivo de la experiencia de un grupo reducido de usuarios con la aplicación añade más valor a la evaluación de la misma que un experimento a gran escala, ya que no estamos estudiando los efectos de un sistema de asistencia aplicado a un fenómeno singular sino a uno complejo –el estado emocional continuo de un sujeto–, con varias facetas y cuya manifestación en cada usuario es única. Las conclusiones se extraen intra-usuario, no entre usuarios, siguiendo la nomenclatura común de los estu-

dios de IPO.

Cualquier experimento que involucre a individuos con TEA debe tener en cuenta la naturaleza mutable de este trastorno, que se describe tanto aquí como en el Capítulo 2. En definitiva, incluir un número elevado de usuarios, cada uno con una manifestación singular del TEA y conjuntos distintos de habilidades y destrezas en un mismo experimento está lejos de implicar una mayor representatividad en la muestra, y haría el experimento innecesariamente complejo. Por otra parte, un escenario en el que contamos con un número elevado de usuarios con TEA en la misma región del espectro y con unas características similares, como ocurre en este experimento, es prácticamente inverosímil por razones de coste, logística y viabilidad. Sin embargo, realizar varios estudios con muestras reducidas pero representativas de los usuarios objetivo es viable y favorece la extracción de conclusiones significativas.

6.3.3. Metodología

El experimento se llevó a cabo durante toda la jornada escolar de los sujetos. Dado que empezaban las clases a las 10 de la mañana y terminaban a las 2 de la tarde, el sistema fue probado 4 horas al día, durante 9 días (en resumen, 36 horas totales de uso del sistema). Adicionalmente, dicho periodo se repartía entre actividades normales de clase y gimnasia, por lo que pudimos también observar los efectos de la aplicación en casos de actividad física. Dos observadores estuvieron presentes en todas las sesiones, al igual que dos educadores. Los observadores tomaron notas de campo, supervisaron la depuración en tiempo real de la aplicación y recolectaron todos los datos que los sensores habían medido a lo largo de toda la sesión.

Las notas de campo consistían en una bitácora estructurada del comportamiento de los sujetos, las intervenciones que recibieron del sistema y todas las eventualidades que surgieran en el transcurso de las sesiones. También contenían apuntes sobre el comportamiento de los compañeros de clase y los educadores presentes. Se anotaron, adicionalmente, los comentarios realizados por estos últimos sobre los estímulos que habían ocasionado conductas problemáticas durante las sesiones.

En cuanto a la inferencia de los episodios de estrés, aunque la aplicación está preparada para incluir un clasificador en tiempo real con un modelo de aprendizaje automático, se optó para los experimentos por simplificar este proceso y establecer un umbral de pulso cardíaco de 90 pulsaciones por segundo a partir de los datos obtenidos de monitorizar a los propios usuarios durante 3 días previos a las sesiones de evaluación en sí. Existen dos razones por las que no se realizó una clasificación automática

en tiempo real para los experimentos:

Validez de los datos de entrenamiento

Un mecanismo de inferencia básico para resolver problemas de clasificación de estados utiliza técnicas fundamentales de **aprendizaje supervisado**. El aprendizaje supervisado consiste en escoger un modelo de aprendizaje automático y entrenarlo con unos datos clasificados previamente, para, seguidamente, probarlo con unos datos sin clasificar. Normalmente, se parte de un corpus grande de datos clasificados (o etiquetados) que se divide en dos subgrupos, se utiliza el primero para entrenamiento y se eliminan las etiquetas del segundo para utilizarlo de test; luego se vuelve a dividir el corpus en otros dos subgrupos diferentes y se repite la operación. Este ciclo se repite tantas veces como especifique el programador, y tanto este parámetro como el tamaño relativo de los dos subgrupos se configura de manera experimental atendiendo a la naturaleza y el tamaño de los datos a clasificar.

Previamente al experimento, realizamos una recolección de datos etiquetados para entrenar un posible modelo de aprendizaje automático (i.e.: *ground truth*). Estos datos consistieron en los registros de las señales que midieron los sensores de pulso cardíaco, acelerómetro, giroscopio y podómetro, por una parte, y etiquetas con marcas temporales que los educadores marcaron a partir de la observación de dichos usuarios. Cada etiqueta señalaba un momento en el que el educador consideraba que el individuo con el reloj estaba teniendo un problema de conducta tal que necesitaría de asistencia para autorregularse.

Al analizar esos datos posteriormente, observamos fenómenos intuitivamente asociados a altos niveles de estrés (subidas repentinas y sostenidas de pulso cardíaco) que no presentaban la etiqueta correspondiente del observador. Esto evidencia que, en muchas ocasiones, y como se argumentaba en el estudio de Mazefsky [132], las manifestaciones emocionales de individuos con TEA no son las esperables o no tienen relación con las que realizan personas sin TEA. Por ejemplo, el usuario A sufría de momentos de gran nerviosismo y frustración que sólo eran observables externamente porque se volvía levemente pálido y apretaba los labios: los evaluadores no registraban una etiqueta en muchos de estos momentos porque no percibían dicho cambio en el individuo. Es por esto que un modelo de aprendizaje automático basado en estos datos excluiría estos episodios, cruciales para una detección robusta.

Infrarrepresentación

Si, de todos modos, se decidiera construir un clasificador con las características mencionadas, existe un problema adicional que dificulta el entrenamiento de un modelo preciso. Los datos que se recogen de este tipo de experiencias son de gran volumen: un flujo de datos que proviene de la señal que mide el sensor, y que requiere que la clasificación se construya en torno a “paquetes” o ventanas temporales, cuyo tamaño es decisión del programador, y muchas veces el valor óptimo se deduce de forma empírica. Sea mayor o menor este valor, la mayoría de las ventanas serán etiquetadas como “ventanas de no estrés”, o “ventana en la que no necesita apoyo”, ya que es el estado usual de un individuo a lo largo de la jornada. Esta es la que se denomina **clase mayoritaria**. Pocas ventanas serán etiquetadas como “ventanas de estrés” o “ventanas en las que se necesita apoyo”, ya que la cantidad de momentos de estrés a lo largo del día es proporcionalmente mucho menor que los de calma.

Un modelo de aprendizaje automático basado en unos datos de entrenamientos con un número poco balanceado de clases es difícil de construir. El clasificador se sobreajusta a las pequeñas diferencias cuantitativas que suponen los datos de las ventanas de la clase minoritaria, y eso produce un número alto de falsos positivos en la predicción y, por tanto, modelos de baja precisión.

Existen alternativas que permiten aliviar el efecto de la infrarrepresentación de la clase minoritaria. Es lo que se conoce como **sobremuestreo** e **inframuestreo** (*oversampling* y *undersampling* en inglés, respectivamente). El sobremuestreo consiste en crear copias sintéticas de las ventanas temporales de la clase minoritaria con variaciones estadísticamente poco significativas en términos de clasificación. Esto permite que el número de entradas de ambas clases no sea tan diferenciado y la precisión del clasificador sufra menos por ello. El inframuestreo, por el contrario, elimina muestras de la clase mayoritaria, con el mismo propósito. En algunos casos, se combinan ambas técnicas para obtener muestras balanceadas en los datos de entrenamiento; sin embargo, se debe recordar que aplicar cualquiera de ellas, al fin y al cabo, adultera la muestra de datos de entrada, y puede resultar en clasificadores con medidas de precisión muy altas respecto a los datos de entrenamiento preprocesados pero poco precisos con datos de test.

En el caso de nuestros datos, la proporción de la clase minoritaria es tan drástica que aplicar dichas técnicas modificaría de forma inviable la muestra y el modelo resultante no clasificaría en tiempo real de forma satisfactoria. La existencia de otros experimentos en la literatura que sí utilizan clasificadores en tiempo real se debe a varios motivos:

Autoevaluación: cuando los experimentos no involucran a usuarios con TEA u otras discapacidades intelectuales relacionados con la alexitimia o labilidad emocional, éstos son aptos para realizar una autoevaluación de su estado de estrés [133], en algunos casos en tiempo real y en otros a posteriori a través de la observación de las sesiones grabadas o de los registros generados. En nuestro caso, la obtención de etiquetas para los datos de entrenamiento sólo es posible de forma externa, obteniendo esa información de los educadores o las personas que observen al usuario en su desempeño cotidiano.

Sensores adicionales: estudios como los de Kim [134] o Ramos [133] hacen uso del sensor electrodermal, que permite obtener datos sobre la conductividad eléctrica de la piel del usuario, esto es, su estado de sudoración en tiempo real. Dado que las variaciones en esta señal están ligadas estrechamente al estado de estrés del usuario, este sensor es de gran utilidad para inferir el estrés. Sin embargo, los *smartwatches* comerciales no tienen este sensor por el momento, y debido a las razones descritas en el capítulo Capítulo 2 relativas a la aceptación y la estigmatización, el sistema propuesto en esta Tesis se circunscribe únicamente a los dispositivos comerciales. El sistema que propone Miranda [135] utiliza Google Glasses, que si bien es un dispositivo comercial, es demasiado intrusivo y diferenciador para usuarios con TEA.

Señales observadas: la manifestación externa de episodios de estrés en usuarios con TEA, como ya comentábamos antes, no es la misma que la del usuario estándar; ni siquiera es común entre usuarios del espectro. Por tanto, los mecanismos de inferencia de estrés para TEA no pueden partir de premisas relativas a los usuarios estándar: no pueden dar por sentado que los movimientos repetitivos indican nerviosismo (pueden ser estereotipias) ni que la ausencia de movimiento indica calma (ver perfil del usuario A).

Contexto objetivo: En estudios como el de Healey et al. [136], el contexto en el que se mide el estrés es acotado (en el ejemplo, se mide el estrés durante la conducción). Esto permite obtener información específica del entorno para identificar estímulos típicos de estrés y nerviosismo. El propuesta enmarcada en esta Tesis, sin embargo, pretende ser un apoyo para el usuario en cualquier momento y lugar del día, por lo que la información que aporta un único contexto no es extensible a la inferencia de sus estados de estrés a lo largo del día.

Las dificultades derivadas de la validez de los datos de entrenamiento y la infrarrepresentación de la clase minoritaria nos llevaron a decidarnos por un mecanismo de inferencia simplificado que explicamos a continuación. Además, el objetivo de esta Tesis, relativo al área en la que se enmarca (la IPO y las tecnologías interactivas para la asistencia) hace más referencia a la interacción que a la búsqueda de un mecanismo fino de detección (que siempre se podrá incluir a medida que la tecnología implicada mejore, incluyendo más sensores en los dispositivos comerciales y permitiendo recogidas de datos más completas). Simplificar el mecanismo de detección de estrés permite

evitar problema de tipo técnico en el experimento que no pertenecen al ámbito de un estudio de interacción entre un usuario con TEA y el dispositivo de asistencia. El objetivo del estudio no consiste en averiguar la precisión de la detección del estrés sino extraer conclusiones acerca del efecto del sistema en la conducta de los usuarios con TEA.

Umbral de detección

Los umbrales de pulso cardíaco han sido establecidos de manera empírica. Los usuarios llevaron los *smartwatches* puestos durante los tres días previos a las sesiones de experimentación. Los observadores estuvieron presentes durante estos dos días, y fueron ajustando los umbrales de tal forma que los falsos positivos fueran infrecuentes.

Es importante destacar que, a diferencia del sistema educativo para el usuario general, en el caso de usuarios con discapacidad cognitiva la actividad física intensa no tiene una presencia destacable en el currículo. Las actividades de estos individuos están centradas en la hiperestimulación sensorial y el desarrollo cognitivo, y las de educación física están más relacionadas con la autoconsciencia corporal y el fomento de actividades colaborativas que al ejercicio. Tras las horas lectivas, por otra parte, la actividad física es poco frecuente; de hecho, la literatura sobre la inclusión de estrategias especiales para fomentar la actividad física extraescolar en estos usuarios es extensa [137, 138, 139]. Estos hechos otorgan más fiabilidad al pulso cardíaco como medida del estrés, ya que hace poco probable que una subida de pulso por encima del umbral se deba a un incremento de la actividad física. Además, ya que estos episodios son de naturaleza emocional y ocasionados por estímulos que aparecen repentinamente en el contexto del usuario, los cambios que provocan en el pulso cardíaco son destacables cuantitativamente, a diferencia de aquellos producidos por un incremento de la actividad física, que tienen un carácter paulatino.

Taimun, como se explicó en el capítulo de descripción del sistema, es capaz tanto de integrar un clasificador como de configurar un umbral de detección para alguna de las señales que mide el *smartwatch*. También resultará de interés, en el futuro, estudiar la capacidad de los dispositivos disponibles en el mercado en cuanto a capacidad de computación para poder ejecutar modelos más avanzados y flexibles de aprendizaje automático como *deep learning* y redes neuronales.

6.3.4. Resultados

Los datos recogidos de los *smartwatches* fueron analizados y agrupados por días. Las notas de los observadores se organizaron de la siguiente manera y se asoció cada evento anotado a su correspondiente ventana de datos de pulso cardíaco. En todos los puntos en los que el pulso cardíaco excedió el umbral, se activó la estrategia de intervención en el reloj. Además, se activó la vibración para llamar la atención del usuario en estas ocasiones.

En las Tablas 6.1-6.6 mostramos las gráficas pertenecientes a cada uno de los días en grupos de tres, junto con las observaciones realizadas. La primera mitad de la gráfica (orientativamente, ya que su horario es flexible) corresponde a las actividades en el aula y la segunda a las actividades del gimnasio. Las notas que se muestran con las gráficas pertenecen, en orden de aparición, a las ocasiones en las que se activó la estrategia de intervención programada para el usuario. En la tabla 6.7 se muestra el número de activaciones del *smartwatch* que se produjeron durante las sesiones, clasificadas por su tratamiento. En el texto se comentarán dichos datos para ponerlos en relación con el resto de observaciones.

Los resultados han sido analizados de forma que se dé respuesta a las siguientes preguntas, que sintetizan los objetivos que establecimos al comienzo del capítulo:

- ¿Ayuda la intervención del *smartwatch* al usuario a recuperar la calma?
- ¿Es capaz el usuario de interactuar con el *smartwatch* de tal forma que siga y complete las estrategias?
- ¿Qué nivel de autonomía en el uso pueden alcanzar con el sistema? ¿Pueden usarlo por sí mismos?

Usuario A

La señal de pulso cardíaco y las notas de los observadores para este usuario pueden observarse en las Tablas 6.1, 6.2 y 6.3. El estado emocional del usuario A tendía a alterarse debido a problemas conductuales cuando desobedecía a los educadores. Esto entraba dentro de las expectativas, porque los educadores reportaron que su principal fuente de estrés eran las actividades indeseadas o que no le causaran interés. Esta conducta se manifestó claramente en los días 3, 6 y 7 (ver Tabla 6.1, 6.2 y 6.3). En los días previos al experimento se puso en duda que este usuario fuera prestar atención

6.3. PRIMER EXPERIMENTO: TEA DE BAJA FUNCIONALIDAD

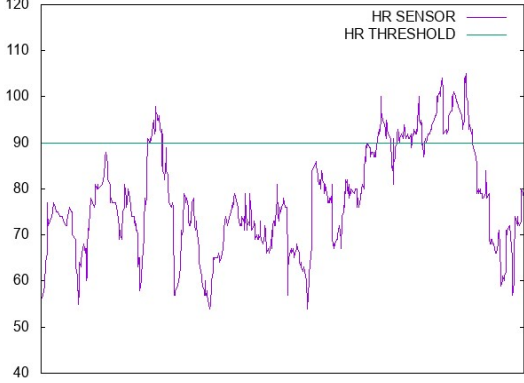

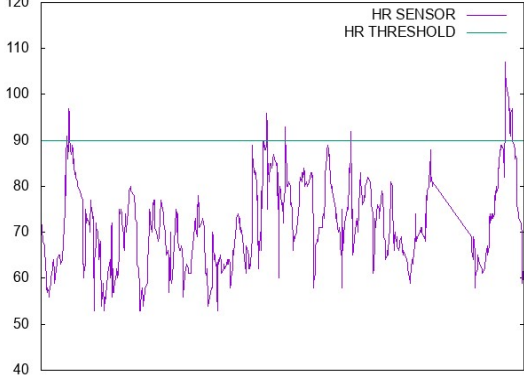
Cardiograma	Eventos
<p>Day 1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mal comportamiento en actividades de aula. Frustración. ▪ Rabieta. Es golpeado por un compañero.
<p>Day 2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Persigue y se pelea con un compañero. ▪ Desea ir al baño. Se frustra por no conseguir comunicarlo.
<p>Day 3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mal comportamiento. Mira el reloj con atención. ▪ Mal comportamiento. Mira el reloj y toca la pantalla. ▪ Mal comportamiento. Mira la estrategia y va a escuchar música. Toca la pantalla de nuevo y finaliza la estrategia. ▪ Conducta similar a la anterior, pero en actividades del gimnasio.

Tabla 6.1. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario A

a las estrategias del *smartwatch* en estas condiciones. En los días 3 y 6 (ver Tabla 6.1 y Tabla 6.2) no sólo prestó atención al *smartwatch* sino que completó la estrategia (pedir música y calmarse escuchándola). Los evaluadores coincidieron en que prestar atención al dispositivo ayudó al usuario a evadirse de los estímulos estresores de su entorno, como compañeros con los que peleaba y se perseguía. Aunque su tasa de pulso cardíaco excedió el umbral en varias ocasiones durante el experimento durante el día 7 (activando, por tanto, la estrategia, como muestra la Tabla 6.3), se observa que aquellos valores de tasa de pulso cardíaco de alto valor pero que no exceden el umbral se mantienen en esa franja durante más tiempo. Sin embargo, cuando este valor sí excede dicho umbral, se observa una vuelta rápida a los valores normales de pulso que representan un estado de calma. El día 6 el usuario tuvo tendencia a descartar la estrategia, y los educadores relacionaron esto al hecho de que los picos de estrés de este usuario fueron más frecuentes, es decir, que el usuario no llegase a recuperar la calma verdaderamente (como sí hubiera ocurrido, como reportan, si hubiera utilizado la música); además, la tasa de pulso cardíaco tiene ese día un valor medio más alto que en el resto de días (la señal es más elevada en esta gráfica).

En cuanto a la autonomía, el usuario necesitó ayuda inicialmente para asociar el pictograma de la música al acto de ir a escuchar música al ordenador, pese a que era un signifiante conocido. El ordenador con vídeos musicales siempre estaba disponible para él en todo momento durante las horas lectivas, y lo utilizó a partir del día 4 (Tabla 6.2), aunque volvió a necesitar ayuda en el día 8 6.3. Los educadores comentaron tras el experimento que sería buena idea introducir más elementos interactivos con el *smartwatch* en la estrategia de intervención del usuario para obtener más datos sobre la efectividad de la presencia del dispositivo en su proceso de autorregulación, en lugar de tener que acudir al ordenador para escuchar la música. En la segunda mitad del día 7 (Tabla 6.3) podemos observar los efectos de la alegría o excitación, como ejemplo de emoción de alta energía y valencia (ver Capítulo 3). El usuario A disfrutó de la actividad de clase tanto que su tasa de pulso cardíaco ascendió y superó el umbral de detección y la estrategia se activó en el *smartwatch*. No obstante, aunque las estrategias de intervención para autorregularse emocionalmente episodios de estrés y frustración no parezcan adecuadas para episodios de excitación y alegría desde un punto de vista intuitivo, tanto el marco teórico [7] como los comentarios recibidos de los educadores señalan que, aunque la alegría o la excitación no son emociones de valencia negativa, su manifestación excesiva en un periodo prolongado sin intervención puede dar lugar a rabietas o derrumbamientos a posteriori, cuando el estímulo excitante desaparece.

El usuario A fue capaz de utilizar el sistema Taimun con todos los componentes interactivos que se requerían. Apreció la vibración de alerta, tocó la pantalla para desplazarse en la secuencia de instrucciones y la finalizó. Las estrategias de regulación se activaron 30 veces, de las cuales se consideraron 10 exitosas en términos de autorregulación emocional (es decir, en las que la tasa de pulso cardíaco descendió y los

6.3. PRIMER EXPERIMENTO: TEA DE BAJA FUNCIONALIDAD

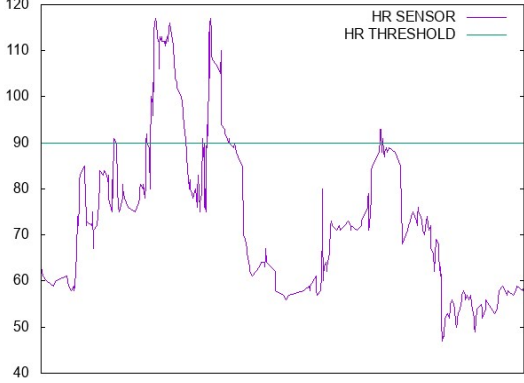
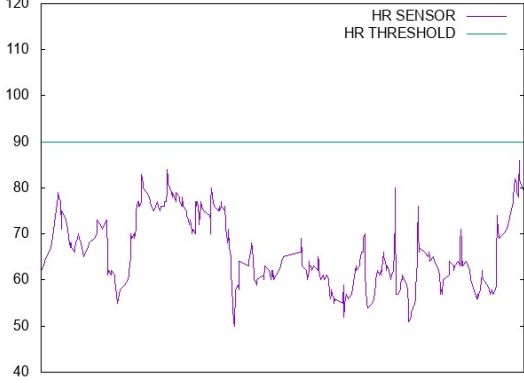
Cardiograma	Eventos
<p>Day 4</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelea con un compañero. No mira el reloj. ▪ Persigue a un compañero. Mira la estrategia y va a escuchar música. Toca la pantalla de nuevo y finaliza la estrategia. ▪ Se asusta por el comportamiento de un compañero. Mira el reloj. Descarta la estrategia tocando rápidamente la pantalla.
<p>Day 5</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No hay rabietas. Parece alegre y trabaja bien. Busca la atención de los educadores constantemente
<p>Day 6</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mal comportamiento. Mira la estrategia y va a escuchar música. Toca la pantalla de nuevo y finaliza la estrategia. ▪ Mal comportamiento durante gimnasia. Descarta la estrategia tocando rápidamente la pantalla. ▪ Se niega a realizar actividades físicas. Mira el reloj por unos momentos, luego descarta la estrategia.

Tabla 6.2. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario A

educadores reportaron de forma verbal que el usuario había recobrado la calma). De las 20 activaciones restantes, 7 pertenecen a los tres primeros días del experimento, donde el usuario aún estaba aprendiendo a utilizar el sistema, y los educadores proporcionaban ayuda para que comprendieran el funcionamiento y prestaran atención al dispositivo. De las otras 13 activaciones, 7 pertenecen a ocasiones en las que era una barrera física impedía al usuario interactuar con el *smartwatch* por estar haciendo una actividad física o peleando con un compañero. Al ser este sistema de aplicación ubicua (es decir, la asistencia que se proporciona debe estar presente en cualquier momento y lugar), las dificultades potenciales también lo son. La imposibilidad física para interactuar, el llevar inapropiadamente el dispositivo o y la presencia de estímulos fuertes e ineludibles en el entorno son elementos que pueden aparecer con normalidad durante su uso. Las 6 activaciones restantes pertenecen al día 7 (Tabla 6.3), donde el usuario pateaba, gritaba y huía constantemente de los educadores, ignorando, además, las alertas del dispositivo. De hecho, las 6 activaciones pertenecen al mismo episodio de ira, en el que la tasa de pulso cardíaco no descendió de ninguna manera (ver Tabla 6.7).

En cuanto al aprendizaje, hubo dos etapas distinguibles en el experimento. Los días 1, 2 y 3 (Tabla 6.1) pertenecen a la etapa de aprendizaje, donde el usuario recibió ayuda para interactuar con el dispositivo y entender el método de presentación de las estrategias. Los educadores cogieron sus manos y le hicieron tocar la pantalla, ver los pictogramas y comprobar que percibía el temporizador en forma de anillo. El usuario realizó esta actividad por sí mismo el día 4 (Tabla 6.2). En ese momento comienza la etapa de meseta en el aprendizaje, que duró hasta el día 9 (Tabla 6.3). En esta etapa, el usuario utilizó la aplicación por sí mismo en la mayoría de las ocasiones, con ayuda ocasional de los educadores para que fuera consciente de la alerta del *smartwatch* cuando su tasa de pulso cardíaco excedía el umbral. Los últimos dos días del experimento, el usuario no necesitó ayuda para usar la aplicación, y los educadores reportaron que sería capaz de realizar un uso a largo plazo del mismo.

Como se explica en el Capítulo 5 sobre la descripción de Taimun, el *smartwatch* repite la estrategia de autorregulación programada si la tasa de pulso cardíaco permanece por encima del umbral aun después de finalizar la estrategia. Esto ocurrió únicamente en el episodio de ira del día 7 (Tabla 6.3) y los días 1 (Tabla 6.1) y 4 (Tabla 6.2), donde peleó con un compañero (esto se observa gráficamente como picos más anchos por encima del umbral). Por tanto, se puede afirmar que el usuario fue capaz de autorregularse emocionalmente en el tiempo comprendido de la estrategia (5 minutos). Los educadores alegaron que, normalmente, si los episodios de ira y estrés de este usuario no se trataban, se producían otros de mayor intensidad cuya recuperación requería la hora entera de clase, además de necesitar la presencia de educadores adicionales en la clase para reconducir el flujo de actividades de sus compañeros, cuyo estado interno también se alteraba a consecuencia de estos episodios.

6.3. PRIMER EXPERIMENTO: TEA DE BAJA FUNCIONALIDAD

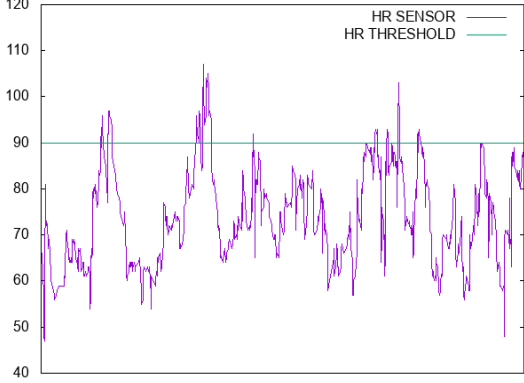
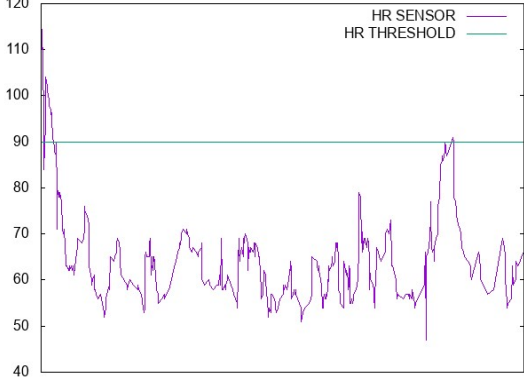
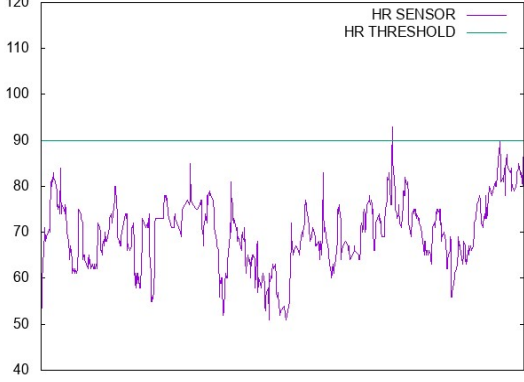
Cardiograma	Eventos
<p>Day 7</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Un compañero le persigue y trata de tocar su reloj. Grita y mira brevemente la estrategia.▪ Se niega a participar en clase. Mira el reloj y va a escuchar música.▪ Se muestra excitado porque están hablando de animales. Ignora el reloj.
<p>Day 8</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Episodio de ira cuando le hacen llevar el reloj. Mira la estrategia, escucha música y termina.▪ Quiere un caramelo, y el cuidador se lo ofrecen. Ignora el reloj.
<p>Day 9</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ No se logra ubicar el estímulo del episodio de estrés. Mira la pantalla y descarta la estrategia.

Tabla 6.3. Resultados de los días 7, 8 y 9 con el Usuario A

Por tanto, en un escenario en el que al usuario A le es familiar la aplicación y es físicamente capaz de interactuar con el dispositivo, el sistema fue efectivo y ayudó al usuario a recuperar un estado de calma en un periodo corto de tiempo que le permitió a sus compañeros y a él continuar con las clases y evitó consecuencias más graves en la conducta del usuario a corto plazo.

Usuario B

La señal de pulso cardíaco y las notas de los observadores para este usuario pueden observarse en las Tablas 6.4, 6.5 y 6.6. El usuario B experimenta episodios intensos de pánico cuya manifestación no es muy llamativa de forma externa. Normalmente, parece calmado. Realmente lo es, teniendo en cuenta los gráficos (excepto en los días 7 y 8, Tabla 6.6), y en comparación con el usuario A, su tasa de pulso cardíaco media es menor y más estable. Durante los 9 días, el usuario B estuvo generalmente calmado, siempre atento a la conducta de sus compañeros, ya que se asustaba fácilmente por los gritos o sonidos fuertes. Cuando esto ocurría, su tasa de pulso cardíaco se elevaba notablemente (ver Tablas 6.4, 6.5, 6.6), aunque dicho estado de ansiedad no se manifestaba de forma claramente visible: tendía a quedarse callado, sin más signos de alarma que tensión corporal y palidez leve. Durante estos episodios, los educadores tenían dificultades para conseguir que el individuo se moviera, comunicara o participase en las actividades de clase. Previamente al experimento, ellos no habían detectado estos episodios, excepto cuando incluían enfados o conductas explosivas.

En los días 7 y 8 (ver Tabla 6.6), uno de los compañeros del usuario B sufrió una infección de oído, lo que le provocó tendencia al llanto, a gritar y mal comportamiento con sus compañeros. El usuario B se mostró miedoso ante tal conducta, y manifestó varias señales de miedo y tensión, y durante dos días cubrió sus oídos con las manos durante casi todas las horas lectivas. Este estado interno tuvo claros efectos en su tasa de pulso cardíaco: pocas veces bajó del rango entre las 80 y 90 pulsaciones por minuto. Sin embargo, se puede observar como si el umbral de pulsaciones del sistema (y, por tanto, las estrategias que se activaban cuando se excedía el mismo), actuara a modo de amortiguador de dichos picos de pulso cardíaco (y, por tanto, de sus episodios de ansiedad). Es decir, el componente distractor del sistema parece haber ayudado a sobrellevar los episodios mencionados. Desde el día 1 hasta el 4 (ver Tablas 6.4 y 6.5), el usuario B necesitó ayuda de los educadores para completar las estrategias. La vibración del dispositivo y la luz de la pantalla atrajeron la atención del individuo desde el día 1, pero no fue hasta el día 5 que fue capaz de completar una estrategia de autorregulación por sí mismo, interactuando con el dispositivo sin la ayuda de los educadores y prestando atención a las animaciones relajantes que se le habían preparado como estrategia de autorregulación. Como se explicó anteriormente, estas animaciones están basadas en vídeos que utilizaba previamente el usuario para relajarse cuando trabajaba con la

6.3. PRIMER EXPERIMENTO: TEA DE BAJA FUNCIONALIDAD

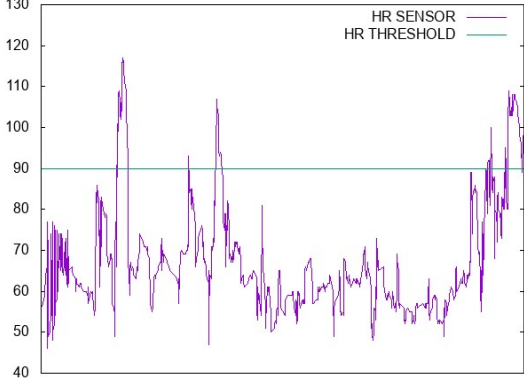
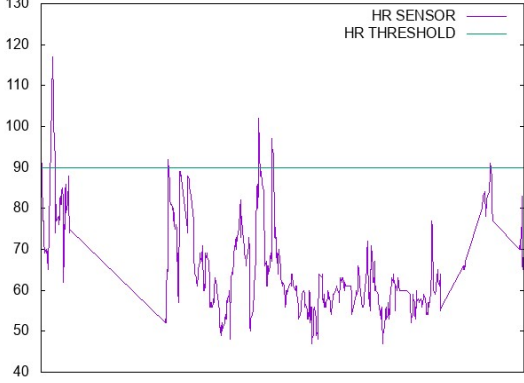
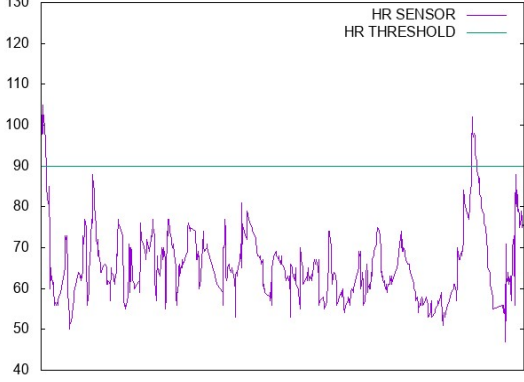
Cardiograma	Eventos
<p>Day 1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Se asusta por los gritos de un compañero. Sigue la estrategia con la ayuda del tutor. Rabieta: palmea la mesa, da patadas y se cubre las orejas. Sigue la estrategia con el tutor. Mira en silencio la pantalla. Se asusta porque el gimnasio está oscuro. Sigue la estrategia con el tutor.
<p>Day 2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> No le gusta llevar el reloj. Consigue aflojarlo. El tutor le hace ponerse el reloj. Se queja moderadamente. Mira la pantalla. Se asusta por los gritos de un compañero. Mira y toca la pantalla una vez. El reloj se afloja durante la actividad física. Se queja y mira la pantalla. Le llaman la atención las burbujas.
<p>Day 3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Se queja por llevar el reloj. Sigue la estrategia con el tutor. Se asusta por los gritos y el enfado de un compañero. Mira la pantalla, la toca y se da cuenta de las burbujas.

Tabla 6.4. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario B

pizarra digital.

El usuario B también presentó cierta tendencia a cubrirse los oídos de forma preventiva cuando creía que sus compañeros iban a gritar o hacer más ruido. Inicialmente, se puso en duda que el usuario fuera a prestar atención a un dispositivo en la muñeca si repetía esta conducta constantemente. No obstante, en los días 6, 7 y 9 (Tablas 6.5 y 6.6) bajó los brazos cuando notó la vibración de inicio de estrategia. En algunas ocasiones, se volvía a tapar las orejas, pero acababa bajando los brazos de nuevo para visualizar una vez más las burbujas que le relajaban (la animación que más le llamaba la atención de las tres).

El usuario B también aprendió a utilizar el sistema exitosamente en términos interactivos: entendiendo la alerta, tocando en la pantalla, observando las animaciones y finalizando la secuencia. Las estrategias de autorregulación se activaron en 54 ocasiones. El aumento comparativo respecto al usuario A se entiende por causas de hipersensibilidad a estímulos visuales y luz. La mayoría de ellas ocurrieron en los días 6, 7 y 8 (ver Tablas 6.5 y 6.6), en los que el usuario se encontraba particularmente nervioso. En 25 de las 54 activaciones del sistema, el usuario completó las estrategias de forma exitosa: observó las animaciones, tocó la pantalla, finalizó la secuencia y recuperó el estado de calma. Las 29 activaciones restantes se clasifican en: 15 activaciones de aprendizaje, en las que los educadores le ayudaron a completar el proceso interviniendo directa o indirectamente, 5 activaciones donde existía imposibilidad física para que el usuario interactuase con el reloj y 9 episodios de pánico de intensidad alta en las que el usuario no prestó atención en absoluto al dispositivo (ver Tabla 6.7).

Debido a que el usuario B presentaba más tendencia a concentrar su actividad en una tarea específica, su grado de interacción con el reloj se desarrolló de forma más progresiva que con el usuario A, aunque necesitó más activaciones de la aplicación en las que interviniesen los educadores. Como se muestra en la descripción de las tablas, el individuo comenzó a recibir las estrategias observándolas sin interactuar, más adelante, tocó tímidamente la pantalla en las siguientes activaciones, y finalmente consiguió llevar a cabo las estrategias de autorregulación por sí mismo. Al igual que el usuario A, durante las actividades en el gimnasio esta interacción no era posible. Las 9 activaciones del sistema que ocurrieron en episodios extremos de pánico pertenecen a momentos en los que el usuario se mostró profundamente asustado, se tapó las orejas con fuerza, y no podía prestar atención al dispositivo. Esto ocurrió en los días 7 y 8 (Tabla 6.6). Estos casos sirven como ejemplo para mostrar que los problemas conductuales de estos usuarios con dificultades en la función ejecutiva actúan como una barrera que impide o limita la transición entre la interacción implícita (las señales fisiológicas del usuario siendo medidas por los sensores del reloj) y la interacción explícita (el usuario navegando por las secuencias de instrucciones del reloj) del usuario con la tecnología (ver

6.3. PRIMER EXPERIMENTO: TEA DE BAJA FUNCIONALIDAD

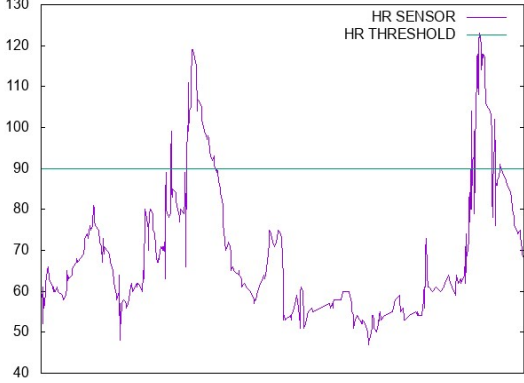
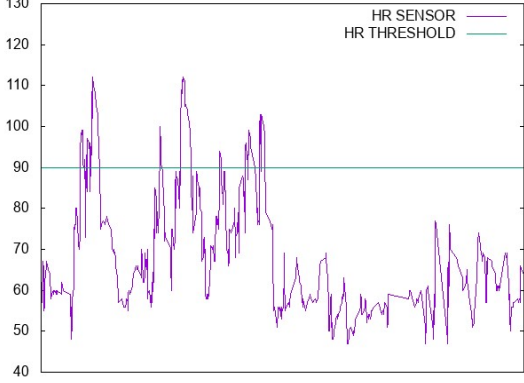
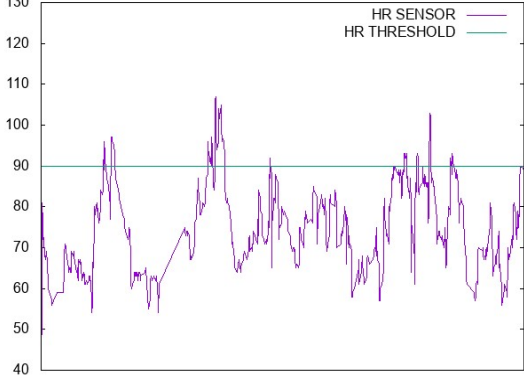
Cardiograma	Eventos
<p>Day 4</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le asustan las sombras de los árboles. Sigue la estrategia con el tutor. Mira durante un rato las burbujas y la puesta de sol. ▪ El tutor le hace subir a las espalderas del gimnasio. Se asusta por la altura. No puede usar el reloj. Parece asustado por un intervalo extenso de tiempo.
<p>Day 5</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un compañero mueve las mesas y sillas, el ruido le asusta. Mira y toca la pantalla del reloj. Mira la animación de la puesta de sol durante un rato. ▪ Rabieta de un compañero. Ignora el reloj. Su alteración aumenta con el cambio entre clase y gimnasia.
<p>Day 6</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ un compañero de clase grita repetidamente. Se tapa los oídos, mira a la pantalla cuando el reloj vibra y lo toca. Mira a las burbujas. Finaliza la estrategia. ▪ Se repite el comportamiento de la entrada anterior, pero alterna taparse las orejas con observar las burbujas.

Tabla 6.5. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario B

Capítulo 3).

En cuanto a la efectividad de la autorregulación emocional, observamos una diferencia clara entre la etapa inicial del experimento, donde el usuario aún no está familiarizado con el sistema, y por tanto sus picos de estrés son extensos, sostenidos en el tiempo; mientras que, en los días posteriores, el usuario sí interactuó con la aplicación por sí mismo, y sus picos de estrés son reducidos y amortiguados visiblemente en las gráficas. No hubo activaciones encadenadas del sistema, como sí ocurrió con el usuario A, pero sus estrategias no contaban con temporizadores, por lo que las animaciones se mostrarían en pantalla tanto tiempo como el usuario deseara, hasta que éste pulsara en la pantalla para avanzar en la secuencia y terminar. En concreto, el usuario B tardó entre 30 y 60 segundos en ver las animaciones y calmarse, en término medio. Los educadores reportaron que esto entraba dentro de las expectativas, afirmando que una intervención adecuada para este usuario debía estar basada en elementos que le distrajeran del estímulo estresor en tanto que estuviera presente en su contexto. También añadieron que estos episodios tan frecuentes de estrés de intensidad baja-media, cuando no eran intervenidos, solían crecer en intensidad hasta convertirse en un ataque de pánico o una rabieta prolongada.

En consecuencia, tenemos de nuevo un caso en el que, si la situación conductual no es extrema y no existe imposibilidad física de interacción, el usuario es capaz de utilizar la aplicación para recuperarse de alteraciones emocionales y de la conducta frecuentes de intensidad baja o media. Esto, además, se logra en un intervalo de tiempo corto (menos de 1 minuto) y previene al usuario de la mayoría de comportamientos explosivos que pueden derivar de no intervenir en dichos episodios.

6.4. Segundo experimento: TEA de alta funcionalidad

Este experimento se llevó a cabo entre los meses de junio y julio de 2017. El lugar donde se llevó a cabo fue la Fundación Juan XXIII Roncalli, una entidad privada sin ánimo de lucro dedicada a la integración social y laboral de personas con discapacidad cognitiva. Este centro cuenta con equipación para el fomento de la actividad laboral, creativa y doméstica de los alumnos. El intervalo de tiempo fue similar al del primer experimento: cuatro semanas, de las cuales los usuarios utilizaron la aplicación 2 días/-semana por cuestiones de disponibilidad de los observadores y educadores para estos usuarios y las actividades que se querían observar.

6.4. SEGUNDO EXPERIMENTO: TEA DE ALTA FUNCIONALIDAD

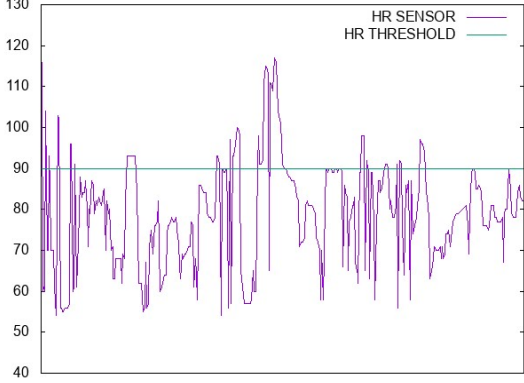
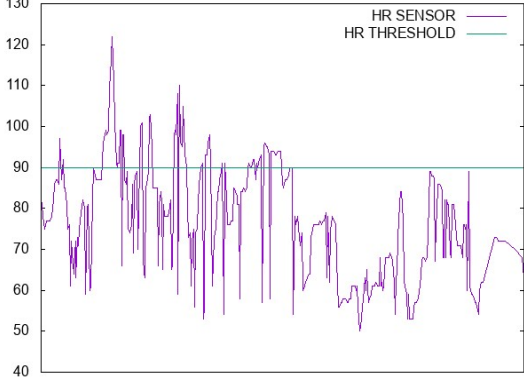
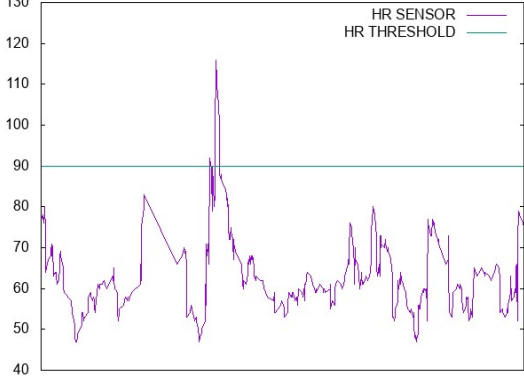
Cardiograma	Eventos
<p>Day 7</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Un compañero grita frecuentemente, y varias personas entran y salen del aula. Las estrategias se activan repetidamente. El usuario mira y toca la pantalla la mayoría de las ocasiones. Rara vez ignora el reloj, y cuando lo hace permanece agitado.
<p>Day 8</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Mismo comportamiento que el día anterior, pero ignora el reloj más veces. Durante la gimnasia, parece más relajado.
<p>Day 9</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Compañero grita, el usuario se asusta. Sigue la estrategia. Deja las burbujas en la pantalla por un tiempo. Finaliza la estrategia.▪ En dos ocasiones, busca la atención del educador y señala al reloj. Parece entretenido por las burbujas.

Tabla 6.6. Resultados de los días 7, 8 y 9 con el Usuario B

U_n	Activaciones totales	Exitosas	Asistidas	No interactivables	Alta intensidad
U_A	54	25	15	5	9
U_B	30	10	7	7	6

Tabla 6.7. Activaciones de las estrategias para los usuarios A y B

Este experimento se enfocó de forma distinta, dada la naturaleza y complejidad de este tipo de usuarios, que se describirá en el siguiente apartado. En este caso, las sesiones no fueron supervisadas por el equipo de investigación de forma directa, ya que desde el centro se señaló el interés que podía tener para la evaluación contar con datos del entorno real en los que el proceso de evaluación fuera lo menos intrusivo posible, máxime cuando se trataba de usuarios con TEA de alto funcionamiento, cuya percepción es más aguda y la posible influencia que pudiera tener la presencia de investigadores en el centro y en el aula podría afectar a los resultados del experimento. Debido a esto, los observadores seleccionados tenían un perfil distinto: en lugar de ser parte del equipo de investigadores, fueron asignados de entre alumnos de psicología que realizaban prácticas en el centro. Tenían experiencia previa en el registro estructurado de la conducta (la toma de notas para el análisis posterior del comportamiento) y en el trato con los alumnos del centro.

Por tanto, todo el análisis realizado fue posterior a todas las sesiones, y el equipo investigador recibió tanto las observaciones y el registro de los *smartwatches* a posteriori, sin la presencia directa en el centro. Por tanto, esta metodología puede resultar en un análisis y unas observaciones más superficiales, en comparación con la primera experiencia con usuarios, al no contar con el análisis de campo por parte del investigador; sin embargo, el valor científico de esta experiencia reside en la verosimilitud de las condiciones del experimento, que reproduce el caso en el que el sistema es utilizado en un contexto estrictamente real.

6.4.1. Perfiles de usuario

La evaluación se llevó a cabo con 2 usuarios (C y D, de aquí en adelante). Los dos pertenecen a la zona del espectro autista que se denomina **de alto funcionamiento**. Esto implica que las capacidades comunicativas son elevadas y que la disfunción ejecutiva afecta a un conjunto de habilidades más reducido o en menor grado (ver Capítulo 2). En estos individuos, la expresión de las emociones y las conductas asociadas a estados afectivos como la frustración, la tristeza o el estrés están más cerca de las asociadas al usuario estándar sin TEA. Por tanto, en muchas ocasiones es posible inferir con certeza el estado de ánimo del usuario, salvo que las características de su TEA afecten

directamente a estas expresiones. A partir de los reportes, se evidencia que así ocurre con los usuarios C y D. Su estado emocional aparente no es muy diferente al que se puede deducir a partir de mediciones psicofisiológicas, y por tanto, la opacidad afectiva que caracterizaba a los usuarios del primer experimento (la cual venía alimentada por las bajas capacidades comunicativas) no generó dificultades a la hora de extraer conclusiones en este caso.

En este centro se trabajaban competencias variadas que no sólo estaban destinadas a enriquecer la faceta laboral del individuo sino aspectos integrales de la vida, con el objetivo de aumentar la autonomía en la vida adulta. Por tanto, el lenguaje, la creatividad y la interacción social forman parte de su programa formativo. Además, estas facetas se abordan siguiendo diferentes estrategias adaptadas a las capacidades de cada usuario. Particularmente, se seguía un modelo de juegos de rol o mentorización mutua, en la que los propios alumnos lideraban equipos de trabajo para completar pequeños proyectos creativos o tareas escolares de forma transversal a las asignaturas o temas que se abordan en cada grupo del centro. Al dar cabida a diferentes niveles de discapacidad cognitiva, así como de otras discapacidades (psicomotora, comunicativa, trastornos del aprendizaje y el desarrollo, etc.), estos roles o tareas se asignan convenientemente para que todos sacasen el máximo provecho de las sesiones. En el caso de los usuarios C y D, dada su ubicación en la zona alta del espectro del autismo, eran capaces de ejercer tareas de liderazgo, mentorización y soporte de estos compañeros. En ocasiones encabezaban y organizaban grupos de trabajo.

Su capacidad de autorregulación emocional, sin embargo, era problemática. De hecho, según reportaron los educadores, estos usuarios tendían a frustrarse y sufrir episodios de estrés cuando no estaban predispuestos para el trabajo o las actividades en el aula. Ambos usuarios estaban en un programa de terapia ocupacional con el objetivo de formarles para desempeñar un puesto de trabajo al salir del centro, por lo que la interacción con otros compañeros y los cambios en el entorno eran frecuentes. Los educadores comentaron que existían varios estímulos que podrían disparar un estado de mal comportamiento o estrés en ellos, pero todos estaban relacionados con problemas al interactuar con los compañeros o cambios bruscos en su entorno. En estas ocasiones, su actitud era desafiante, explosiva y reacia a trabajar. Además, esta conducta tendía a mantenerse por prolongados periodos de tiempo, por lo que la presencia de un estímulo negativo de este tipo podía ocasionar que los usuarios C y D perdieran un día de clases o trabajo productivo. Además, como ocurría en el primer experimento, esta conducta era perjudicial también para sus compañeros, tanto por influir negativamente en su conducta como en acaparar atención de los educadores, que deben emplear mucho tiempo y esfuerzo pedagógico en devolver a estos usuarios a un estado emocional estable en el que pudieran volver al trabajo. A diferencia de los usuarios A y B, entre estos dos no se encontraron diferencias significativas que afectasen al desarrollo del experimento propuesto.

6.4.2. Materiales

En lo referente a hardware, se utilizaron los mismos relojes que en el primer experimento, con los mismos sensores y se tomaron las mismas decisiones técnicas en cuanto al umbral de pulso cardíaco, por las razones expuestas anteriormente. Por otro lado, para las estrategias se procedió de distinta manera. Los educadores argumentaron que una parte importante de la asistencia para individuos de este tipo consiste en la personalización de los apoyos visuales ofrecidos. En usuarios cuyo TEA se enmarca en la zona baja del espectro el componente distractor de las ayudas resulta esencial porque los estímulos estresores suelen formar parte de los elementos que, inevitablemente, estarán presentes en su entorno (recordemos a usuario B y las sombras de los árboles y los edificios). Sin embargo, en el caso de autismo de alto funcionamiento, los terrores y estímulos estresores de un individuo dependen en mayor medida de sutilezas, y por tanto la asistencia debe ser lo suficientemente flexible como para adaptarse rápidamente a los cambios que se produzcan en el acervo de reacciones emocionales del usuario. Por tanto, difícilmente nos valdría una misma estrategia para todas las sesiones. Los educadores argumentaron que, en consecuencia, ellos mismos elaboraran las estrategias sobre la marcha desde el teléfono móvil, luego las sincronizarían con los teléfonos, las probarían en las sesiones y si no producían el resultado esperado tendrían libertad para cambiarlas del mismo modo a lo largo del experimento. Esto asemeja aún más el experimento a un caso de uso real.

6.4.3. Metodología

El experimento también se llevó a cabo a lo largo de toda la jornada escolar de los individuos, de 10 de la mañana a 2 de la tarde, adaptándose a la disponibilidad específica de cada uno, ya que algunas actividades se llevaban a cabo en aula y otras en talleres, gimnasio o espacios específicos de trabajo. El usuario C probó la aplicación durante 7 días, y el usuario D hizo lo propio hasta 9 días. Al igual que en el experimento anterior, los umbrales fueron ajustados a partir de tres sesiones previas que también llevaron a cabo en el centro de forma no supervisada, tras las cuales nos entregaron los datos obtenidos y se calcularon estos siguiendo los mismos criterios que los descritos en el apartado sobre la metodología del primer experimento.

Dado que todo el proceso de recolección y puesta en marcha diarios que se requería para realizar las sesiones lo llevaban a cabo los propios individuos y los educadores del centro, se les entregó un manual con el protocolo que se debía realizar para que el experimento se efectuase debidamente. Consistía en unas indicaciones de configuración inicial, para que enlazaran sendos teléfonos con el reloj de cada usuario, respectivamente, así como un manual de usuario de la herramienta de autor para que aprendiesen

a implementar estrategias de autorregulación que se desplegaran en el reloj cuando el pulso cardíaco del individuo excediese el umbral que se describía anteriormente. De forma diaria, debían poner en marcha los relojes al iniciar la jornada y detenerlos, extraer los datos, hacer una copia de seguridad y poner a cargar todos los dispositivos para que estuviesen listos para el día siguiente. Durante las sesiones, se les proporcionó una plantilla para el registro de la conducta y se proporcionó la libertad que requerían para cambiar las estrategias cuando considerasen oportuno.

6.4.4. Resultados

Se aplicó el mismo método de análisis descriptivo de las gráficas cotejado con las notas de los observadores. En este caso, no hay una división fija de actividades según el día, y realizan tareas diversas en varios momentos de la mañana: en las notas se señalan las que puedan tener relevancia para el estado emocional o pulso cardíaco del sujeto. También se activó la vibración en los *smartwatches*.

En las tablas 6.8, 6.9 y 6.10 se pueden ver las gráficas de pulso cardíaco del usuario C en cada día, en la primera columna, y una síntesis de las observaciones en la segunda columna. En las tablas 6.11, 6.12 y 6.13 se encuentra la información respectiva al usuario D. En la tabla 6.14 se muestra el número de activaciones del *smartwatch* que se produjeron durante las sesiones. En el texto también se comentarán dichos datos para ponerlos en relación con el resto de observaciones.

En las gráficas se observan líneas de pulso cardíaco con muchas más subidas y bajadas en comparación con las obtenidas en el primer experimento tanto en el término general como en el detallado, si seleccionamos intervalos reducidos de tiempo. Esto se debe a que estos usuarios tienen una mayor capacidad de interacción y actividad, lo que les lleva a realizar más movimiento, que resulta en una tasa de variabilidad de pulso mayor. En definitiva, la forma de sus gráficas sería más similar a la que obtendríamos al monitorizar la actividad diaria de una persona sin TEA, en términos generales. A pesar de todo, se observa que la cota de pulso cardíaco es más reducida y más estable, y que en el transcurso del día los valores se suelen limitar a un cierto intervalo. Eso destaca los picos, y los hace fácilmente identificables con los eventos que se reseñan en las notas.

El estado emocional del usuario C tendió a desestabilizarse a raíz de conflictos con sus compañeros. En los días 1, 3 y 5 (Tablas 6.8 y 6.9) se observaron conductas problemáticas que le impedían realizar con normalidad las tareas que se le asignaban el resto del día. El contenido de las estrategias de intervención era elaborado y enviado a los relojes por parte de los propios educadores. Se le cambiaron las estrategias en los

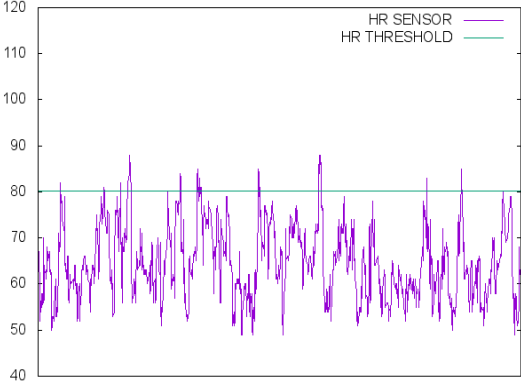
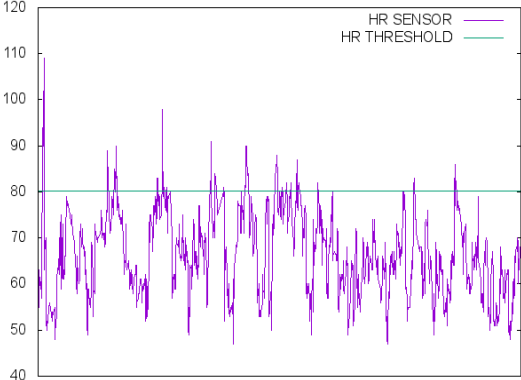
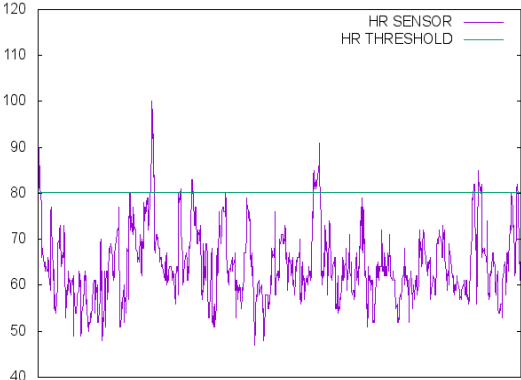
Cardiograma	Eventos
<p>Day 4</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ El comportamiento a lo largo del día es problemático.▪ Mal comportamiento con sus compañeros y los educadores, reticencia a realizar las actividades diarias.▪ Ignora el reloj.
<p>Day 5</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ El comportamiento a lo largo del día es estable y sin alteraciones aparentes.
<p>Day 6</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Cambian las estrategias de intervención.▪ Se activa la estrategia cuando se pone el reloj (el sensor está calibrando).▪ Tiene problemas para entender la nueva estrategia.▪ Se vuelve a cambiar a la estrategia anterior.▪ Tiene un episodio de alteración emocional más largo de lo deseable.

Tabla 6.8. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario C

días 3, 4 y 5. Los dos primeros días ignora el reloj (o no se activan las estrategias) y deciden cambiar la estrategia en el día 3, pero parece tener problemas para entenderla y vuelven a cambiarla por otra. Esto produce confusión en el usuario, a quien además se le activa mientras se pone el reloj y el sensor aún está calibrando. Tras esto, se produce un episodio de estrés por un tiempo prolongado, y la estrategia no logra que vuelva al estado de calma. Vuelve a ocurrir lo mismo en el día 4, con otro cambio de estrategia. Además, aquí el usuario muestra interés por el contenido de la nueva estrategia pero luego no interactúa con el dispositivo cuando se activa. Hasta el día 5, los educadores no encuentran una estrategia que funcione, donde además el usuario es capaz de completar la secuencia e interactuar con el reloj sin problema. En estos casos, recobró un estado de calma y de funcionalidad en el aula que, como los días previos demuestran, no lograba tras un episodio problemático. Este funcionamiento continúa hasta el último día de la prueba, en el que el usuario realiza actividad física que sube su ritmo cardíaco y activa las estrategias en varias ocasiones. Por tanto, el sistema fue efectivo en los casos en los que el usuario prestaba atención al móvil, y dicha atención dependió por entero del contenido de las estrategias. La carga interactiva y la intensidad de los episodios no parecieron obstaculizar el correcto funcionamiento del sistema. Es destacable, por otra parte, señalar que el mecanismo de inferencia para este tipo de usuarios, cuya actividad física sí es considerable en términos de pulso cardíaco, debería estar orientado a evitar estos falsos positivos. La autonomía que se prevee que pueda alcanzar este usuario con la aplicación es alta, pero siempre de forma sensible a los contenidos que se le proporcionan. Sería discutible analizar cuánto dura la validez de una estrategia, es decir, la posibilidad de que el usuario abandonase el uso de la aplicación por tedio, al repetirse una estrategia en el tiempo. Los expertos argumentan que, para llegar al punto en el que llevar a cabo una estrategia de autorregulación emocional sea tedioso, estaríamos en un caso en el que el usuario ha llevado a cabo muchas veces la misma, por lo que la autorregulación que se pretende impartir estaría asimilada por el individuo, y por tanto un posible abandono no sería un problema sino la consecuencia natural del aprendizaje.

Cuantitativamente, el usuario C recibió 66 activaciones de las estrategias de autorregulación (ver Tabla 6.14). En los primeros días, en los que tendió a ignorar el dispositivo o a no entender las estrategias, se le asistió en su uso. En total fueron 16 activaciones con asistencia de los educadores. En los días que se han descrito como más conflictivos para el usuario, se registraron 19 activaciones en las que los expertos coincidieron en definir como episodios de alta intensidad, en los que el usuario rechazó cualquier tipo de acercamiento ni interacción con el dispositivo. De las 31 activaciones restantes, 10 ocurrieron durante actividades físicas, en las que el usuario no podía pararse a utilizar el *smartwatch*, aunque sí dio muestras de notar la activación. Finalmente, tenemos 21 activaciones en las que el usuario completó la estrategia de autorregulación sin ayuda y experimentó una bajada del pulso cardíaco por debajo del umbral al completarla.

El usuario D sufría problemas anímicos que se acentuaban enormemente con la

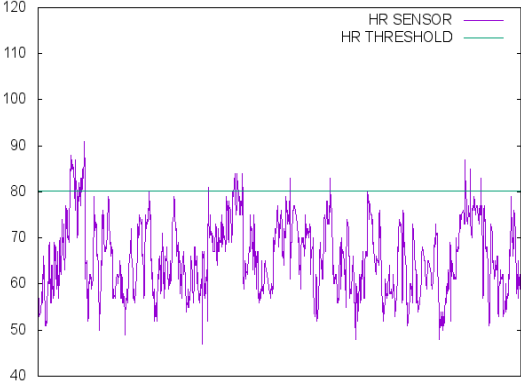
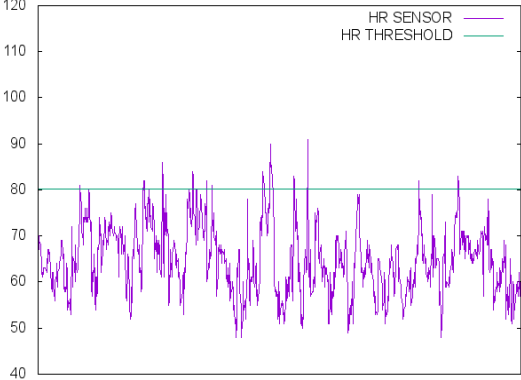
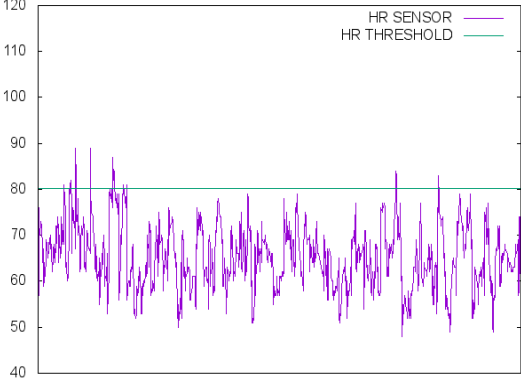
Cardiograma	Eventos
<p>Day 7</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Cambian las estrategias de nuevo.▪ Le entusiasma la nueva estrategia cuando se le muestra pero luego se muestra desinteresado cuando se activa.▪ Hay varios momentos de conducta inestable, y de duración prolongada.
<p>Day 8</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ La primera mitad de la sesión se utiliza la estrategia del día anterior.▪ En la segunda mitad de la sesión, se cambia a una estrategia nueva.▪ El usuario completa esta nueva estrategia y se muestra calmado y estable.
<p>Day 9</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Sigue las instrucciones del reloj con atención.▪ Se muestra más calmado a pesar de situaciones problemáticas: hay tormenta y muchas visitas en el centro y en el aula.

Tabla 6.9. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario C

6.4. SEGUNDO EXPERIMENTO: TEA DE ALTA FUNCIONALIDAD

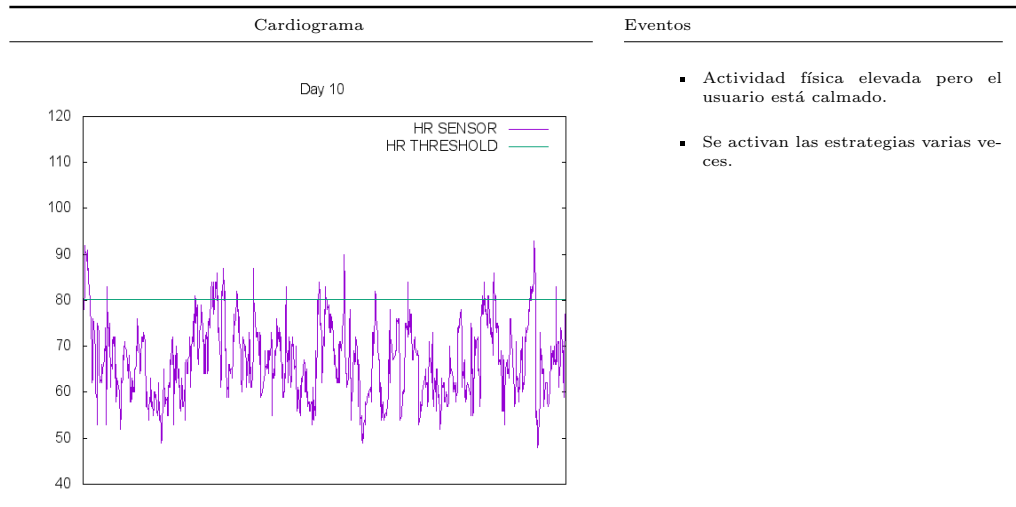


Tabla 6.10. Resultados del día 7 con el Usuario C

presencia de estímulos que supusieran cambios en su entorno: personas desconocidas, visitas, ruidos fuertes, etc.; también tendía a experimentar episodios de enfado y estrés por razones afectivas: un compañero rechazaba una muestra de cariño o discutía con él, cuando tenía algún problema familiar o cuando percibía algún conflicto en sus alrededores.

En las notas de los observadores no hay constancias de cambios en las estrategias, por lo que se entiende que se utilizó la misma durante todo el experimento. Se observaron algunos fenómenos similares a los del usuario C: los periodos de actividad física y los momentos de calibración del dispositivo provocaron falsos positivos. Por otra parte, en el día 2 (Tabla 6.11) se observan algunas activaciones de las estrategias que parecen ser falsos positivos, pero que aumentan a lo largo del día y que los observadores y educadores acaban asociando a la reacción interna del individuo a la música que están poniendo. Aunque una reacción positiva de este tipo pueda calificarse como falso positivo, en realidad su detección y regulación también es necesaria, pues como se discutía en el primer experimento, los episodios de alegría o euforia descontrolada tienen un alto riesgo de conducir a frustración o tristeza cuando el estímulo desaparece. Aunque en la primera mitad del experimento ignora el reloj, durante los días 7, 8 y 9 (Tabla 6.13) el usuario percibió la alerta del reloj y completó las estrategias, logrando un descenso en su pulso cardíaco. Además, en el día 7 del experimento, el individuo realizó una autoevaluación de su estado interno cuando se activó la estrategia del reloj. Los expertos señalaron que esto es especialmente valioso, ya que lograr que un individuo con TEA sea capaz de leer las emociones propias constituye un avance significativo para sobrellevar las dificultades derivadas de la alexitimia inherente al propio TEA (ver Capítulo 2). En cuanto a la autonomía, este individuo tampoco tuvo problemas para entender la interacción con el dispositivo, por lo que parece viable para un uso independiente, ya

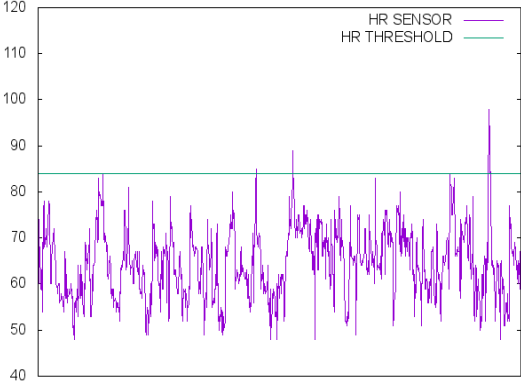
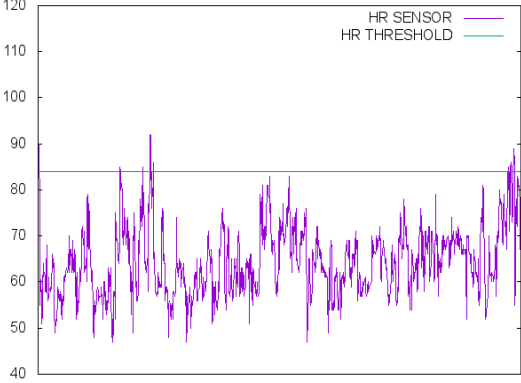
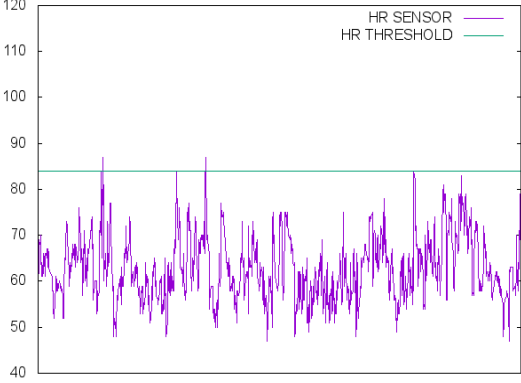
Cardiograma	Eventos
<p>Day 2</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ El usuario está levemente alterado.▪ Los estímulos que le provocan malos comportamientos y episodios de estrés son de tipo psicoafectivo: frustración por no recibir un abrazo, excitación descontrolada, interacción con los compañeros, etc.
<p>Day 3</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Se activa la estrategia mientras calibra el sensor al ponerse el reloj.▪ Se activa en un momento de aparente tranquilidad.▪ Se vuelve a activar en otro momento de calma, pero se sospecha que el usuario esté entusiasmado con la música que están poniendo en el aula.▪ Se activa la estrategia cuando el usuario discute con otro compañero y hay ruidos en el entorno. Ignora la estrategia.
<p>Day 4</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ El usuario realiza actividad física.▪ Se activa la estrategia en varias ocasiones.

Tabla 6.11. Resultados de los días 1, 2 y 3 con el Usuario D

que además no requirió cambios en la estrategia a mitad de experimento que exigiesen la intervención de un cuidador, si bien esto puede tratarse de algo casi arbitrario, y que la primera estrategia fuese convenientemente efectiva.

En total, se produjeron 38 activaciones de las estrategias con este usuario (Tabla 6.14). 9 de ellas fueron realizadas con la ayuda de los educadores, que recorrieron los pasos de las estrategias con ellos, aunque la activación fuera resultado de un supuesto falso positivo, ya que consideraron que eran ocasiones para llevar a cabo el aprendizaje de la aplicación. Las activaciones producidas en episodios de alta intensidad son proporcionalmente mayores al resto de usuarios, siendo 12 de las totales. Sin embargo, sigue habiendo más ejecuciones satisfactorias de las estrategias (13), en las que se observó un efecto beneficioso y el usuario pudo volver a un estado de calma o estabilidad. Este usuario no realizaba una actividad física destacable: sólo hay 4 activaciones del *smartwatch* sin atender por este motivo.

Sin embargo, las conclusiones de este experimento no son tan claras como en el caso del experimento anterior. A pesar de que lo esperable hubiera sido que este tipo de usuarios experimentase una mejoría sostenida y notable al utilizar la aplicación, debido a sus pocas dificultades interactivas y un estado interno aparentemente más estable de inicio, sus episodios de estrés resultaron ser más dependientes del contexto y la estrategia que en el caso anterior. Por otra parte, las consecuencias afectivas de la disfunción ejecutiva en el TEA de alta funcionalidad son más sutiles y opacas, por lo que un experimento de propósito general (es decir, una sucesión de sesiones donde se monitoriza la actividad general del usuario a lo largo de su vida cotidiana) no abarque adecuadamente las dificultades individuales que provocan problemas emocionales en los individuos. Por tanto, parece más interesante realizar un tipo de experimento diferente, en el que se observe de forma intensiva y continuada al usuario realizar una actividad concreta (asistir a un taller, atender a una clase, etc.) relacionada con los estímulos concretos que le resultasen problemáticos. En resumen, los resultados de este experimento nos llevarían a diseñar experimentos en el futuro en los que tanto los escenarios de uso como la asistencia proporcionada estuvieran focalizados en mayor medida, a partir de un estudio previo de los usuarios involucrados. A fecha de redacción de esta Tesis, dichos experimentos están planificados: se hablará de ellos en la sección acerca del Trabajo Futuro del capítulo (ver Capítulo 7).

Por otra parte, la presencia de actividad física es problemática para el mecanismo de inferencia del estrés. Por tanto, la necesidad de mayor robustez en el clasificador que se implemente en el sistema deberá tener en cuenta cuidadosamente los datos del acelerómetro, así como de los sensores adicionales con los que pudiera contar el dispositivo.

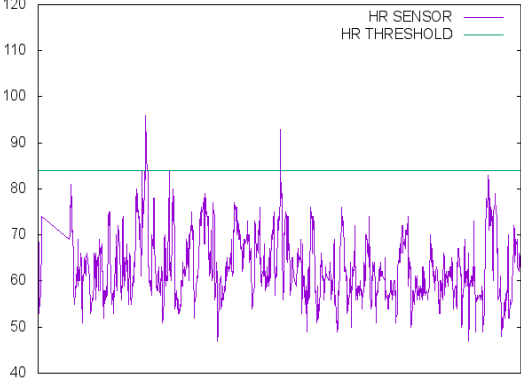
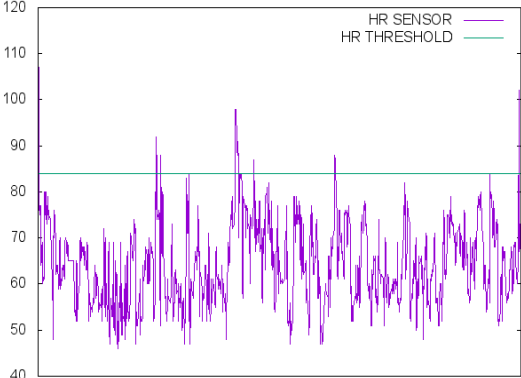
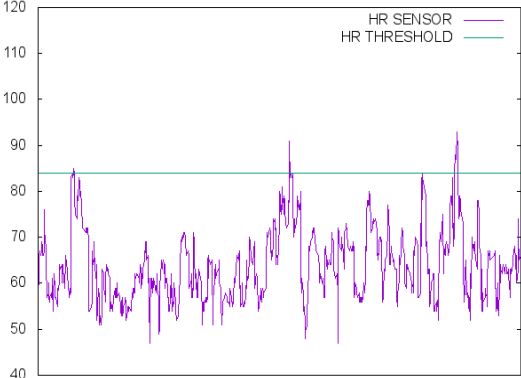
Cardiograma	Eventos
<p>Day 5</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ El usuario se muestra calmado a lo largo de todo el día
<p>Day 6</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Se produce una activación cuando le molestan mientras trabaja.▪ A continuación, vuelve a realizar actividad física.
<p>Day 7</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Durante el día se producen varias activaciones pero el usuario ignora el reloj.

Tabla 6.12. Resultados de los días 4, 5 y 6 con el Usuario D

6.4. SEGUNDO EXPERIMENTO: TEA DE ALTA FUNCIONALIDAD

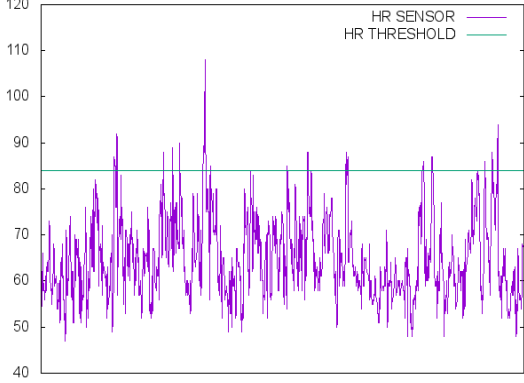
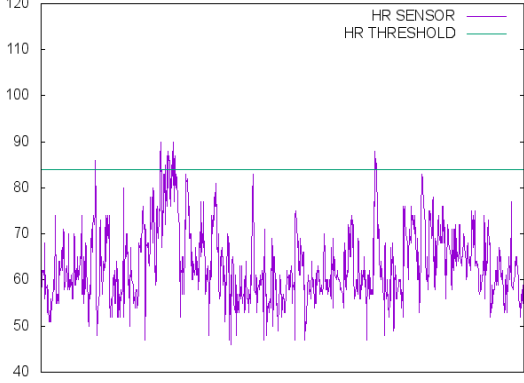
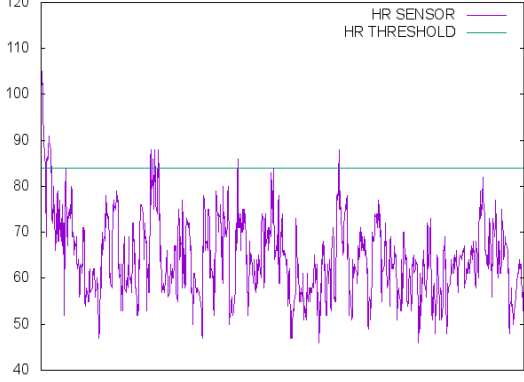
Cardiograma	Eventos
<p>Day 8</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ El usuario se muestra muy alterado: hay muchas visitas en el aula y se producen discusiones y lloros.▪ Se activa la estrategia y el usuario realiza una autoevaluación: afirma que su estado no es bueno
<p>Day 9</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Tiene un conflicto con un compañero, y se activa la estrategia.
<p>Day 10</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ Por motivos familiares, se percibe al usuario decaído.▪ Se agita fácilmente y se activa la estrategia cuando esto ocurre.

Tabla 6.13. Resultados de los días 7, 8 y 9 con el Usuario D

El diseño de las estrategias de intervención también ha resultado ser más delicado que en el primer experimento. En el caso del usuario C, se necesitaron tres intentos durante las propias sesiones hasta dar con aquella que sirviese al individuo. Dado que las estrategias de intervención para la autorregulación emocional de individuos con TEA de baja funcionalidad resultaron ser efectivas al basarse en distractores (escuchar música, ver una animación), se evidencia la necesidad de estudiar alternativas que asistan al usuario para una gestión interna de la frustración que emplee mecanismos más complejos para el control de respuestas inadecuadas. En otras palabras, la mayor capacidad cognitiva de los individuos con TEA de alta funcionalidad requiere de unas estrategias de intervención más exigentes. Los educadores, tanto del centro Alenta como de la Fundación Juan XXIII señalaron que quizá fuera conveniente en algunos casos que los propios individuos diseñaran sus estrategias de intervención, previo aprendizaje del uso de la herramienta de autor. De ser así, el grado de autonomía que obtuvieran con el sistema sería mucho mayor. En el experimento descrito en el Trabajo Futuro también se plantea llevar a cabo esta prueba.

U_n	Activaciones totales	Exitosas	Asistidas	No interactivables	Alta intensidad
U_C	66	21	16	10	19
U_D	38	13	9	4	12

Tabla 6.14. Activaciones de las estrategias para los usuarios C y D

6.5. Tercer experimento: usabilidad de la herramienta de autor

La usabilidad de la herramienta de autor ha sido evaluada en un experimento con 8 profesores especializados en la educación de personas con TEA del centro Alenta (implicado en el primer experimento). Estos profesores incluyen en su metodología de enseñanza el diseño de estrategias y apoyos para la autorregulación emocional, principalmente con pictogramas.

6.5.1. Metodología

Se pidió a los profesores que diseñaran tres estrategias de intervención utilizando, en primer lugar, los medios tradicionales y, en segundo lugar, la herramienta de autor de Taimun-Watch. Las estrategias que se le solicitó diseñar fueron las siguientes:

6.5. TERCER EXPERIMENTO: USABILIDAD DE LA HERRAMIENTA DE AUTOR

- Tarea 1: una estrategia de apoyo para realizar una respiración guiada en dos fases (inhalación y exhalación).
- Tarea 2: Una estrategia para ayudar al usuario a comunicarse y pedir un objeto relajante: una pelota, un peluche o un reproductor de música.
- Tarea 3: Una estrategia de diseño libre, basada en alguna que ellos utilizaran previamente con sus alumnos.

Se indicó que podían utilizar cualquier material para realizar las estrategias en la primera parte del experimento, aunque todos utilizaron un ordenador con Microsoft Office, ya que las herramientas de diseño que empleaban eran bien Word o PowerPoint, de tal forma que generaban contenido imprimibles para utilizar en sus clases.

Tras diseñar las intervenciones con los métodos tradicionales, siguieron un tutorial de uso de la herramienta de autor de Taimun-Watch y, a continuación, se les solicitó implementar estrategias equivalentes mediante dicha herramienta de autor. Ninguno de ellos indicó ningún problema para adaptar las estrategias a dicho formato, y todos finalizaron la implementación satisfactoriamente. Después de diseñar las estrategias, completaron una encuesta de satisfacción y expresaron sus impresiones sobre el uso de la herramienta.

6.5.2. Resultados

Rendimiento

U_n	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	\overline{m}
U_1	3.69	3.30	2.04	3.01
U_2	1.80	1.33	2.07	1.73
U_3	1.15	1.37	1.71	1.41
U_4	5.71	2.79	1.91	3.47
U_5	1.61	2.62	0.60	1.61
U_6	3.54	3.48	1.98	3.00
U_7	3.07	2.98	2.35	2.80
U_8	6.25	5.00	6.12	5.79

Tabla 6.15. Factores de mejora en tiempo para cada usuario y tarea

Se midieron los tiempos empujados para cada tarea (diseñar cada una de las tres estrategias planteadas) en cada modalidad (medios tradicionales frente a herramienta

de autor) con cada profesor (nombrados U_1, U_2, \dots, U_8). Los resultados se muestran en la tabla 6.15.

Excepto U_5 en la Tarea 3, el resto de usuarios experimentaron una mejora en el tiempo de completado con la herramienta en las tres tareas. U_8 implementó su estrategia de intervención en un tiempo entre 5 y 6 veces menor al empleado con los medios tradicionales. Aún así, no se contabilizó el tiempo adicional que se hubiera necesitado en el diseño de estrategias con medios tradicionales para imprimir, recortar y dar el formato adecuado a los apoyos visuales, mientras que la aplicación sólo necesita transmitir los datos al reloj con sólo pulsar el botón de sincronización. Este tiempo que se emplea en el diseño de estrategias no sólo es relevante desde un punto de vista logístico, sino que permite a los educadores atender a las necesidades de más individuos y personalizar con más detenimiento las estrategias. Utilizando este sistema, cada profesor sería capaz de preparar estrategias de intervención para una media del triple de usuarios, como muestra la columna de medias de la tabla.

Cuestionarios y observaciones

Todos los sujetos completaron el cuestionario SUS de usabilidad [140]. 7 de los 8 sujetos obtuvieron una puntuación superior a 68, lo cual se considera por encima de la media en términos de usabilidad. Los resultados en percentiles se muestran en la Tabla 6.16.

Percentiles	
Mínimo	61.1
0.25	75.0
Mediana	83.3
0.75	86.1
Máximo	88.8

Tabla 6.16. Puntuación del cuestionario SUS en percentiles

Además del cuestionario, se invitó a los participantes a realizar las observaciones que considerasen pertinentes sobre la usabilidad y la utilidad de la aplicación. También recogimos su opinión acerca de introducir dicha herramienta en sus clases como una ayuda para crear esos apoyos visuales que emplean con sus alumnos con TEA.

Los participantes indicaron que usarían la aplicación en sus clases sin dudarlo. Argumentaron que el sistema les ofrecía la posibilidad de estructurar de una manera más

cómoda las estrategias de intervención. Esto se debe a que, al no guardar un registro exhaustivo de los contenidos que generaban con los medios tradicionales, la creación de los mismos era meramente intuitiva y sin estructurar. El sistema, decían, les ayudaba a mantener un registro de las intervenciones pasadas, comprobar su efectividad y proponer nuevas estrategias basadas en dichos datos. Adicionalmente, afirmaron que proporcionar una asistencia coherente en cuanto a forma y estructura era particularmente beneficioso para usuarios con TEA debido a sus características estereotípicas y conductas que tienden a la repetición y mecanización. Finalmente, señalaron las ventajas logísticas y de coste que suponía utilizar esta herramienta, ya que no tendrían que emplear material físico (papel, cartulinas y fotografías) para llevar a cabo estas tareas, así como emplear tiempo y personal adicional en elaborarlo manualmente.

6.6. Conclusiones

Taimun-Watch ha sido probado en entornos y con usuarios reales, tanto en su faceta de sistema de asistencia a personas con TEA en su autorregulación emocional como en la de herramienta de autor con la que generar contenidos que sirvan para proporcionar dicha asistencia.

El sistema *wearable* ha sido evaluado con 4 usuarios (A, B, C y D) con TEA cuyas características comunicativas y psicomotrices se ubican en diferentes zonas del espectro. En el ámbito de la autorregulación emocional, en estos usuarios se presentan dificultades tanto en la identificación de emociones propias y en la gestión y traducción conductual de las mismas. Esto provoca que la manifestación de estados emocionales desagradables dé lugar a conductas explosivas e inestables a corto plazo y problemas psicológicos relacionados con ansiedad y depresión a medio y largo plazo. En la literatura que aborda este tema desde los ámbitos de la psicopedagogía y psicología, estos problemas a medio y largo plazo se derivan de las consecuencias que producen las dificultades a corto plazo, de forma acumulativa, es decir, es probable que los episodios de ansiedad o depresión de una persona con TEA dada provengan de la incapacidad de gestionar episodios de ira, estrés o frustración a lo largo de un intervalo de tiempo extenso. Los usuarios A y B, que presentaban las dificultades mencionadas, llevaron el *smartwatch* precargado con una estrategia personalizada de apoyo para su autorregulación emocional durante 9 días lectivos completos. El reloj monitorizó y registró el pulso cardíaco, movimientos y actividad física de los usuarios, así como proporcionó la asistencia programada cuando la señal de pulso cardíaco sobrepasó un umbral calculado de forma empírica en sesiones previas. Se realizó observación naturalista con la presencia de dos evaluadores que tomaron notas de todas las sesiones. En este capítulo se muestran las versiones sintetizadas de esas notas junto a los resultados de la monitorización del pulso cardíaco en forma de gráficas. Estos usuarios pertenecen a la zona baja del espectro

del autismo debido a su déficit en la función ejecutiva, que se traduce en dificultades comunicativas severas y problemas de conducta a largo plazo. En este experimento se han hallado resultados satisfactorios de interacción en dos usuarios cuya conducta y autorregulación emocional presentaba dificultades derivadas de su déficit en la función ejecutiva: el usuario A muestra comportamientos explosivos, mientras que los episodios de pánico del usuario B son difícilmente detectables por su manifestación externa. Dentro de la zona del espectro de TEA de baja funcionalidad, estos individuos representan dos arquetipos conductuales típicos en cuanto a la expresión del déficit de autorregulación emocional, lo que confiere a nuestro sistema una base experimental sólida respecto a la efectividad de las estrategias. Los resultados mostraron, además, que cuando no existe imposibilidad física de interactuar con el dispositivo y los episodios de estrés, ira o enfado no sean de una magnitud excepcional, el sistema es capaz de ayudarles a recobrar el estado de calma satisfactoriamente. Esto previene episodios más intensos de conductas problemáticas y, a largo plazo, ayuda a mitigar problemas anímicos que se derivan de la acumulación de episodios menores de frustración emocional que no se han tratado en el día a día.

Los usuarios C y D son individuos con TEA de alta funcionalidad, es decir, sus habilidades cognitivas son mayores y las dificultades relativas a la función relativa son más específicas y reducidas. En este caso, su capacidad comunicativa era completa, y eran capaces de transmitir sensaciones e impresiones a los educadores y observadores durante el experimento. La metodología seguida fue prácticamente idéntica a la empleada con los usuarios C y D, con la diferencia de que los observadores fueron externos al equipo de investigadores, y por tanto las sesiones fueron llevadas a cabo de forma no supervisada directamente. Los resultados obtenidos indican la necesidad de planificar otro tipo de experimento, más específico, en el que se aprovechen las habilidades de este tipo de sujetos para proporcionar una asistencia aún más personalizada (planteando, incluso, que los propios usuarios elaboren sus estrategias mediante la herramienta de autor) y estudiando la implementación de un mecanismo más riguroso de detección de estrés para evitar falsos positivos. No obstante, la experiencia interactiva de los usuarios con la aplicación fue satisfactoria, y se puede afirmar que las dificultades para obtener una asistencia correcta se basarán en el contenido de la estrategia y no en la propuesta tecnológica de la Tesis.

Por último, se realizó una prueba con 8 profesores de educación especial para obtener datos de usabilidad de la herramienta de autor con la que se diseñan las estrategias de intervención. En esta prueba se comparó el rendimiento y la satisfacción de los usuarios a la hora de diseñar estrategias con la herramienta, en comparación a diseñarlas con los medios tradicionales que empleaban anteriormente. Los resultados mostraron una mejora del tiempo empleado en la confección de estrategias tres veces superior al tradicional, y la encuesta SUS proporcionó un resultado de usabilidad percibida por encima de la media. Una herramienta de autor eficiente y efectiva permitirá a los

6.6. CONCLUSIONES

educadores a proporcionar asistencia de forma más flexible, personalizada y con un coste menor de tiempo y recursos, lo que resultará en poder asistir a más usuarios.



7 Conclusiones

Cuando, repuestos de la primera impresión, pudimos llorar ante el cadáver de nuestro amigo, encontramos que tenía consigo el famoso poema. En la última página había escritas estas palabras: Hoy, en plena primavera, dejó abierta la puerta de la jaula al pobre pájaro azul.

*Rubén Darío
Azul... (1888)*

7.1. Conclusiones

Esta Tesis realiza un recorrido que parte de las necesidades de individuos con TEA en cuanto a problemas de regulación emocional y de conducta, los relaciona con las posibilidades que ofrecen las tecnologías *wearables* y móviles para satisfacerlas, y describe el sistema Taimun-Watch, cuyo diseño se realiza teniendo en cuenta dichas conclusiones. Por último, la evaluación trata de analizar en qué medida se cumple dicho propósito y describe los resultados de probar la herramienta en un entorno real.

Las personas con TEA encuentran en la identificación, gestión y expresión de las emociones una barrera que dificulta su capacidad para desenvolverse en la vida diaria.

Además, la acumulación de episodios de estrés, rabietas y enfados que no se gestionan en el día a día acarrea problemas de ansiedad y depresión a largo plazo que requieren una solución más compleja y costosa, y que en muchos casos se mantienen a lo largo de su vida. Por ello, es importante que su educación aborde este tema desde una perspectiva resolutoria, que estudie de dónde proviene la dificultad para autorregularse y proporcione estrategias efectivas para resolver dichos conflictos. Como se explica en el Capítulo 2, la raíz de los problemas de autorregulación emocional en TEA es el déficit en la función ejecutiva, un conjunto de habilidades cognitivas relacionadas con la secuenciación de tareas, la planificación y la resolución de problemas. Al igual que ocurre con el resto de dificultades derivadas de la disfunción ejecutiva en TEA, las estrategias de intervención para adquirir estas habilidades tienen una naturaleza común de secuenciación de instrucciones, de forma que las personas que reciben esta asistencia pueden planificar acciones y aprender los pasos que conforman una tarea con el tiempo y la práctica. En el caso de la autorregulación emocional, este trabajo puede consistir en ayudas para realizar respiraciones guiadas, instrucciones para evitar el estímulo estresor, o un conjunto de recursos distractores para atraer la atención del individuo. Estas instrucciones se suelen elaborar utilizando alternativas de comunicación adaptadas a la capacidad de cada usuario: imágenes, pictogramas, lenguaje adaptado, etc.

La elaboración de estas estrategias es costosa en cuanto a personal (se requieren expertos que personalicen las instrucciones de cada individuo), tiempo (el necesario para crear los apoyos visuales necesarios y las alternativas comunicativas que funcionen con cada individuo) y recursos (el material se tiene que replicar para que esté disponible en todas las localizaciones en las que el individuo sea susceptible de necesitarlas). Por ello, al final del Capítulo 2 planteamos el uso de tecnología como plataforma para llevar a cabo el proceso de enseñanza de habilidades de autorregulación emocional en personas con TEA. Sin embargo, el uso de tecnologías con usuarios de estas características conlleva unas implicaciones que, de no ser tenidas en cuenta, hacen peligrar el uso satisfactorio de la herramienta, o que esta sea abandonada. Estos factores son sutiles, y atienden no sólo a las necesidades de los propios usuarios sino de los involucrados en su aprendizaje (familiares, educadores, expertos, etc.).

A partir de los trabajos hallados en la literatura al respecto, en el Capítulo 3 realizamos un estudio de las necesidades de estas personas a la hora de adoptar un recurso tecnológico en su contexto. En líneas generales, concluimos que los dos factores principales a la hora de evitar que un producto tecnológico sea abandonado por estos usuarios tiene que ver con la estigmatización y la facilidad de gestionarlo. La estigmatización hace referencia a la diferencia que impone el uso de cierto elemento tecnológico en un usuario frente a los demás de su entorno cuando lo utiliza. Por ejemplo, utilizar un dispositivo a modo de casco para medir ciertos parámetros fisiológicos puede dar muy buen resultado técnico pero resultar intrusivo y diferenciador. Las familias son especialmente sensibles a este hecho, y tenderán a rechazar los sistemas y aplicaciones que requieran

el uso de estos dispositivos por parte del individuo con TEA. La facilidad de gestión comprende otros factores como la usabilidad, el soporte asociado, y la complejidad de su instalación, actualización, mantenimiento y reemplazo. Evidentemente, cuanto más parecida sea la tecnología empleada a la del gran público (*smartphones*, *tablets*, ordenadores, *smartwatches*, etc.) la facilidad de gestión aumentará en gran medida, ya que no requerirá aprendizaje nuevo por parte de los implicados. En dicho Capítulo terminamos explorando el potencial de algunos dispositivos con el objetivo de determinar cuál es el más adecuado para implementar la funcionalidad deseada respetando lo expuesto anteriormente. Los *smartwatches* comerciales, por su capacidad de medir señales fisiológicas que son indicadores del estrés y el nerviosismo (pulso cardíaco, movimiento, etc.) y su pantalla interactiva en la que se pueden mostrar imágenes, animaciones y cantidades limitadas de texto, son adecuados para implementar un visualizador de estrategias de autorregulación emocional. Además, no suponen estigmatización al no diferenciarse de un reloj de pulsera y su uso es similar al de los *smartphones* en cuanto a sistema operativo y gestión de aplicaciones.

En el Capítulo 5 describimos con detalle el sistema propuesto. Para ello, se sigue una metodología centrada en el experto según la cual nos reunimos periódicamente con los especialistas en TEA del centro Alenta y esbozamos la funcionalidad del sistema, que se plasma en una lista detallada de requisitos y posteriormente en la implementación final de la herramienta. Nos decantamos por los *smartwatches* de Android por la oferta de dispositivos a precio asequible en el mercado y la versatilidad que proporciona a los desarrolladores para hacer diversos tipos de aplicaciones en lo que respecta a la comunicación con los *smartphones* y el envío de los datos. La funcionalidad Bluetooth y el potencial del sistema operativo Android Wear permiten un sistema compuesto de herramienta de autor (*smartphone*) para crear y gestionar las estrategias y un visualizador de las mismas (*smartwatch*) que portará la persona con TEA y cuyo contenido consumirá cuando el mecanismo de inferencia de estrés detecte un episodio problemático.

Por último, realizamos un plan de evaluación para Taimun-Watch en el Capítulo 6 que comprende tres experimentos donde se prueban las distintas facetas del sistema en un seguimiento de 190 horas que involucra a 2 usuarios con TEA de baja funcionalidad, 2 usuarios con TEA de alta funcionalidad y un equipo de 8 expertos en dos centros distintos. Dada la naturaleza compleja y diversa del TEA, la actividad de los usuarios implicados se monitoriza con detalle mediante los sensores del reloj, los registros de uso de la aplicación y la observación naturalista directa. Los experimentos con personas con TEA se centran en observar el efecto de las estrategias de autorregulación emocional personalizadas para ellos por los expertos de cada centro, y los centrados en dichos expertos tienen por objetivo concluir si la confección de estrategias con la herramienta optimiza dicho proceso frente a hacerlo sin ella (con los medios tradicionales). En el primer caso, se obtuvo un resultado satisfactorio: los usuarios aprendieron a utilizar el

smartwatch en pocos días y terminaron por realizar las estrategias de autorregulación sin necesidad de ayuda. Además, los registros de la monitorización de las señales, analizados posteriormente, mostraron que a medida que los sujetos aprendían a utilizar la herramienta, se atenuaban sus episodios de estrés, siempre que fueran de baja o media intensidad y que pudieran usar las manos para interactuar con el dispositivo. Esto es un buen resultado, ya que mitigando los efectos de dichos episodios se pueden evitar, por extensión, los problemas a largo plazo que se comentaban en el estudio previo del TEA. Estos resultados fueron claramente visibles en el caso de los sujetos en la zona baja del espectro. Con los otros usuarios, se podían percibir patrones de mejora, pero se requieren experimentos futuros que prueben la aplicación en contextos más concretos para pulir conclusiones. En el caso del experimento con los especialistas en la creación de estrategias, pudieron aprender sin problema a utilizar la aplicación, con la que terminaban por gestionar estrategias en un tercio del tiempo que empleaban antes, y las impresiones recopiladas señalaron que les parecía una herramienta que ofrecía más posibilidades que la elaboración con los medios tradicionales, y que les permitía implementar ayudas que antes no eran posibles, como la de incluir animaciones o temporizadores automáticos.

Los resultados, por tanto, evidencian que Taimun-Watch es una solución viable, funcional y de bajo coste para la elaboración y despliegue de estrategias para la autorregulación emocional de personas con TEA. Además, su diseño e implementación están apoyadas en las observaciones más recientes de la literatura, por lo que también constituye una contribución científica, al no existir trabajos previos que utilizasen esta tecnología para este objetivo.

7.2. Contribuciones de la Tesis

A partir de esta visión general de los objetivos, sistemas propuestos y resultados, se observan las siguientes contribuciones de la presente Tesis:

- El diseño de un sistema de autorregulación emocional robusto, viable y de bajo coste para personas con TEA. Como se expuso en el Capítulo 4, no existen propuestas previas de sistemas para la asistencia de estos individuos en la adquisición de estas habilidades, por lo que esta herramienta es novedosa tanto en el campo de la psicopedagogía como en el de la IPO. Su presencia en el dominio científico, por tanto, puede suponer numerosos estudios futuros que la utilicen de base, ya que las dificultades que aborda resultan transversales en todo el proceso de desarrollo del individuo con TEA. El carácter multidisciplinar del trabajo presentado aporta conocimiento aprovechable en varias áreas de estudio y supone una contribución de interés científico que resulta central en programas de gran relevancia

como, por ejemplo, las Tecnologías del Futuro y Emergentes (FET OPEN) del Horizonte 2020.

- Este trabajo se complementa con una evaluación fundamentada en la observación naturalista y el análisis de datos fisiológicos de individuos con TEA. En base a los argumentos expuestos en el Capítulo 6, resulta evidente la mejora que supone utilizar un sistema como este frente a los medios tradicionales de asistencia. Este hecho supone una contribución de carácter metodológico con el potencial de beneficiar la actividad de centros de educación especial donde la utilicen y aborden el desarrollo de individuos con TEA. A nivel científico, la mejora que supone la propuesta de esta Tesis valida la contribución descrita anteriormente y proporciona algunas claves (relativas a la detección del estrés y la interacción de personas con TEA y *wearables*) que se pueden utilizar para apoyar estudios futuros que propongan sistemas con *feedback* afectivo, *smartwatches* o ambos.
- El desarrollo de una aplicación (Taimun-Watch) financiada por la Fundación Orange y cuya publicación gratuita en Google Play se llevará a cabo en los meses sucesivos a la redacción de esta Tesis. Esto supone, desde el punto de vista práctico, la realización de trabajos y colaboraciones futuras (como se propone en las contribuciones anteriores), así como su uso por el centro de educación especial o particular que lo desee.
- A partir del trabajo presentado, se han realizado publicaciones en revistas del JCR y congresos del CORE, que ya están aceptadas y se pueden consultar vía referencia bibliográfica. En la última sección de este Capítulo listamos dichas publicaciones clasificadas por temática y medio.

7.3. Trabajo Futuro

A raíz de las conclusiones descritas en la sección anterior, esbozamos las siguientes líneas de trabajo futuro:

- **Detección:** a pesar de que la detección del estrés en individuos con TEA es un tema de investigación que quedaba fuera del alcance de esta Tesis, resulta preciso trabajar en esta línea, ya sea colaborando con investigadores en modelos avanzados de aprendizaje automático o aprovechando *smartwatches* comerciales en el futuro que incluyan algunos de los sensores que resultan especialmente significativos para la predicción del estrés, como el electrodermal. También sería interesante implementar en la herramienta de autor ciertas opciones de configuración para ajustar el mecanismo de detección en el caso de modelos simples (umbrales o combinación lineal del *output* de los sensores). Esto último requeriría

un estudio previo de usabilidad para diseñar una interfaz que permitiese ajustar estos parámetros sin añadir complejidad al uso de la aplicación.

- **Evaluación:** a fecha de redacción de esta Tesis, se está planeando un proceso de evaluación con usuarios con TEA de alta funcionalidad que abarcará un número mayor de los mismos y monitorizará su actividad y uso del sistema durante actividades de improvisación, comunicación y trabajo en equipo. De esta forma, se podrán observar los efectos de las estrategias de autorregulación emocional en los contextos que resultan adecuados para estos usuarios, cuyas dificultades son más sutiles y complejas de acotar, como se argumentaba en el Capítulo 6. Esta evaluación se llevará a cabo en la Drexel University, en Filadelfia (E.E.U.U.).

- **Adaptación:** a pesar de que el diseño de este sistema está fuertemente orientado a la elaboración de estrategias secuenciales para la autorregulación emocional de personas con TEA, dadas sus necesidades y contexto, los expertos señalaron que sería conveniente adaptar otras estrategias de intervención relativas a la asistencia en actividades educativas y cotidianas en el futuro, ya que algunas de ellas también están basadas en secuencias de instrucciones.

- **Versión modular:** dado que existen aplicaciones para la asistencia de personas con diversidad funcional cognitiva (y se espera que, en el futuro, surjan más para *smartwatches*), se propone como trabajo futuro diseñar una versión modular de Taimun-Watch que permita añadir la asistencia en la autorregulación emocional a estas aplicaciones, cuyo uso puede generar frustración en determinadas situaciones. Actualmente, se puede tener ejecutada Taimun-Watch en segundo plano mientras se utiliza otra aplicación, pero en caso de detectarse un episodio de estrés, Taimun-Watch pasa a primer plano y la aplicación que estuviera corriendo se minimiza. Una versión modular de Taimun-Watch permitiría acoplar la funcionalidad de Taimun-Watch a otras aplicaciones, de tal manera que el componente emocional esté integrado en el sistema, y se puedan de realizar las estrategias de autorregulación desde dentro de los propios sistemas de asistencia. Este trabajo requiere el desarrollo de una librería que permita tanto la funcionalidad de visualizar las estrategias como la conexión con la herramienta de autor para obtenerlas.

7.4. Publicaciones

7.4.1. Publicaciones relacionadas con la Tesis

Publicaciones en revistas indexadas

- **Torrado, J. C.**, Gomez, J., & Montoro, G. (2017). Emotional self-regulation of individuals with autism spectrum disorders: Smartwatches for monitoring and interaction. *Sensors*, 17(6)
Factor de impacto: 2,677 (Q1/T1).
Fecha de aceptación: junio de 2017.

Publicaciones en congresos

- **Torrado, J. C.**, Montoro, G., & Gomez, J. (2016). The Potential of Smartwatches for Emotional Self-regulation of People with Autism Spectrum Disorder. In *HEALTHINF 2016 – 9th International Conference on Health Informatics*. (pp. 444-449).
Factor de impacto: Core C.
Fecha de aceptación: febrero de 2016.
- **Torrado, J. C.**, Gomez, J., & Montoro, G. (2016). Including Affect as a Part of the Context in Assistive Technologies for Cognition. *Ambient Intelligence and Smart Environments, 21(Intelligent Environments 2016)*, 358-365.
Factor de impacto: Core C.
Fecha de aceptación: agosto de 2016.
- Gomez, J.; **Torrado, J. C.**; Montoro, G. Using smartwatches for behavioral issues in ASD. In *Proceedings of the XVII International Conference on Human Computer Interaction - Interacción 2016*; 2016; pp. 1-2.
Fecha de aceptación: julio de 2016.

7.4.2. Publicaciones sobre temas relacionados

Publicaciones en revistas indexadas

- **Torrado, J. C.**, Montoro, G., & Gómez, J. (2016). Easing the integration: A feasible indoor wayfinding system for cognitive impaired people. *Pervasive and*

Mobile Computing.

Factor de impacto: 2.349 (Q1/T1)

Fecha aceptación: febrero de 2016.

- Gomez, J.; **Torrado, J. C.**; Montoro, G., ?Using Smartphones to Assist People with Down Syndrome in Their Labour Training and Integration: A Case Study; *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, Article ID 5062371, 15 pages, 2017.
Factor de impacto: 1,899 (Q2/T2).
Fecha de aceptación: diciembre de 2017.
- Gomez, J., Montoro, G., **Torrado, J. C.**, & Plaza, A. (2015). An Adapted Way-finding System for Pedestrians with Cognitive Disabilities. *Mobile Information Systems*, 2015.
Factor de impacto: 0,849 (Q4/T3).
Fecha de aceptación: septiembre de 2015.

Publicaciones en congresos

- **Torrado, J. C.**; Gomez, J.; Montoro, G. Experiencias de evaluación de herramientas tecnológicas para la asistencia de personas con discapacidad cognitiva. In *Proceedings of XVI Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador*; 2015; pp. 281-288.

Publicaciones en otras revistas

- Gómez, J.; Alamán, X.; Montoro, G.; **Torrado, J. C.**; Plaza, A. AmICog: mobile technologies to assist people with cognitive disabilities in the work place. *Adv. Distrib. Comput. Artif. Intell. Jornual* 2011, 2, 9-17
Fecha de aceptación: marzo de 2014.



7 Conclusions

Cuando, repuestos de la primera
impresión, pudimos llorar ante el
cadáver de nuestro amigo,
encontramos que tenía consigo el
famoso poema. En la última página
había escritas estas palabras: Hoy, en
plena primavera, dejó abierta la
puerta de la jaula al pobre pájaro
azul.

Rubén Darío
Azul... (1888)

7.1. Conclusions

This Thesis starts stating the needs of individuals with ASD regarding their problems of self-regulation and behavior, and links them to the possibilities that mobile and wearable technologies offer in order to meet them. This Thesis also describes the system called Taimun-Watch, whose design is based on those needs, and three experiments are carried out in order to analyze how far is this goal achieved through the results obtained in a real environment.

Identifying, managing and expressing emotions entail a challenge for people with ASD that jeopardizes their autonomy. Additionally, the accumulation of stress epis-

odes and temper tantrums that are not properly treated may lead to major long-term anxiety or depression issues that require a more complex and expensive solution, so these problems tend to remain throughout their lives. That is why coping strategies and studying the origin of those episodes in order to create solutions is central to their education. As Chapter 2 points out in its argumentation, the root of self-regulation problems is in their executive dysfunction, a lack of cognitive skills related to the task sequencing, planification and problem solving. As for the rest of issues derived from the executive dysfunction in ASD, intervention strategies are based on micro-prompting, so individuals who follow them are able to complete the steps within a task and, with time, do it completely with no help. In case of emotional self-regulation, these strategies involve, for instance, breathing guidance, stressing stimuli avoidance or a set of distracting resources that gets the attention of the individual. These instructions are usually provided by means of alternative and augmentative communication strategies such as images, pictograms, special language, etc.

Creating these strategies is expensive in terms of people (experts who are able to individualize the instructions are required), time (whatever it takes to create the visuals and communicative alternatives that work with each individual) and resources (materials ought to be replicated in order to be available wherever the user needs access to it). Due to this, at the conclusions of Chapter 2 we propose the use of technologies as a platform to carry out the teaching of self-regulation skills for individuals with ASD. However, using technologies with these individuals entails some implications that jeopardize the acceptance or success of its implementation if they are not taken into account. The characteristics are often subtle, and are not only related to the users' need but also to their stakeholders': family, experts, educators, etc.

Starting from the studies found in the literature, the Chapter 3 studies the needs of people with ASD when it comes to adopt a technological resource into their environment. Thus, we conclude, that there are two main factors that must be studied in order to avoid abandonment of technology: stigmatization and ease of management. Stigmatization means the difference that remarks the use of technology in a certain user in a given context. For instance, using a helmet-shaped device to measure certain physiological signals could deliver excellent technical results, but turn out to be intrusive and differentiating. Families are strongly sensitive to this fact, and tend to reject systems and applications that require the use of this sort of devices. Ease of management involves other factors such as usability, support and ease of installation, update, maintaining and replacement. Consequently, the more a device resembles the devices employed in the mainstream (tablets, computers, smartphones, smartwatches), the more it will be accepted in the context of an individual with ASD (or other intellectual disabilities), since its usage will not require new learning. In the aforementioned Chapter, we end up exploring the potential of certain devices to implement the explained functionality in order to select the most suitable one. Commercial smart-

watches, due to their ability to measure physiological markers of stress (heart rate, respiration rate, movement) and their interactive screen on which instructions can be shown to the user by means of text, images and animations. Moreover, they do not imply any stigmatization, because their shape is identical to the regular watches', and its use is similar to the smartphones' in terms of operative system and application management.

In Chapter 5 we describe in detail the proposed system. To that end, we follow an expert-centered methodology, so we meet periodically a group of experts in education of people with ASD from a center called Alenta in order to outline the system functionality, which materializes in a set of requirements, and after that in the final implementation of the system. We select Android smartwatches and smartphones as the target platform because of the cost of their devices (less expensive than iOS devices or ad-hoc ones) and its versatility for developers in terms of communication with other devices such as smartphones and data transmission. Bluetooth functionality and the potential of Android OS allowed us to develop a system composed of an authoring tool (smartphone) to create and manage the strategies and a strategy visualizer (smartwatch) which is to be worn by the individual with ASD and whose content will use to self-regulate when the smartwatch sensors detect a stress episode.

Finally, we conduct an evaluation plan for Taimun-Watch, described in Chapter 6, and it contains three experiments where the diverse aspects of the sysem are tested in a total of 190 hours involving 2 users with low-functioning ASD, 2 users with high-functioning ASD and a group of 8 experts in two centers of special education. Given the diverse and complex nature of ASD, the activity of the involved users is monitorized through the sensors of the smartwatches, the use logs, the application logs and direct naturalistic observation. The two experiments with ASD individuals focuses on observing the effects of the individualized strategies of self-regulation, and the experiment with experts is carried out in order to conclude whether the system optimizes the elaboration of strategies in terms of time and resources compared to the traditional method. In the first case, the users learned how to use the smartwatch properly in a few days, and ended up performing the self-regulation tasks that were programmed for them without help. Additionally, the logs show that their stress episodes tempered as the users learned how to use the application, with the evidence of their heart rate. This happened at low or medium intensity episodes where the users had their hands free to interact with the smartwatch. This is a satisfactory result regarding the Thesis goals, since mitigating these sort of episodes may help avoiding the long-term problems that were described in the initial study. These results were clearly visible in the case of low-functioning ASD subjects. With high-functioning individuals, although improvement patterns were observated, further experiments in more specific scenarios are required to extract accurate conclusions. As for the experiment with educators and strategy creation, they could learn the use of the application easily, and were able to reduce the

time spent in creation and management of the strategies in a third . The interviews showed that they preferred this new system because it offered more possibilities than the traditional means, and allowed them to create more diverse types of strategies with less resources, such as animations and automatic timers.

Thus, the results show that Taimun-Watch is a feasible, functioning and affordable solution for the creation and deployment of intervention strategies for the emotional self-regulation of people with ASD. Moreover, its design and implementation are supported by the most recent observations extracted from the literature, which entails a remarkable scientific contribution, since there are no preceding systems neither in scope nor technology.

7.2. Contributions of this Thesis

Regarding the aforementioned goals, proposed systems and evaluation results, we extract four main contributions of this Thesis:

- The design of a robust, feasible and affordable system for emotional self-regulation for people with ASD. As stated in Chapter 4, there are no previous proposals for these individuals in order to acquire these skills in the literature, so this tool is innovative in the field of Psychopedagogy, as well as in the HCI area. Thus, its presence in the scientific domain may lead to future studies that start from this point, since the difficulties it tackles goes across the whole process of growth of an individual with ASD. The multidisciplinary nature of the presented work provides useful knowledge that intersects with several research areas and entails a contribution of scientific interest within high-relevance programs such as Future and Emergent Technologies (FET OPEN) from Horizon 2020.
- This work is complemented with an evaluation based on naturalistic observation and qualitative analysis of physiological data of final users with ASD. According to the arguments exposed in Chapter 6, the improvement provided by the use of the proposed system compared to the traditional means is evident. This fact entails a contribution of methodological nature with the potential to benefit the special education centers' activity, where educators and families can use this system. At a scientific level, this improvement validates the contribution stated in the previous point and provides some keys (related to stress detection and interaction between users with special needs and wearables) that can be applied to further studies that propose new systems with affective feedback, smartwatches or both.

- The development of an application (Taimun-Watch), funded by Fundación Orange, that is going to be published in Google Play in the months that follows to the writing of this Thesis. This implies, in a practical point of view, further collaborations and studies, apart from its very use in special education centers.
- From this work, several publications have been made in JCR journals and CORE conferences that are already accepted and published and can be consulted via bibliographical reference. In the last section of this chapter, there is a summary of these publications grouped by subject and place of publication.

7.3. Future Work

From the experience, a set of future work lines can be stated:

- **Stress detection:** although stress detection in individuals with ASD is a complex problem that falls out of the scope of this Thesis, further studies in this line are necessary, either in collaboration with researchers on advanced machine learning models or using future models of smartwatch that contain certain sensors that are particularly significant for this matter, such as the electrodermal sensor. It would be also interesting to implement certain configuration options in the authoring tool that allows the users to adjust some parameters of the simpler inference mechanisms (thresholds or linear combination of sensor output). The latter would require a previous usability study in order to ensure that this changes would not affect the tool's general usability due to added difficulty.
- **Evaluation:** at the same time of this Thesis' writing, further experiments are being outlined with a greater number of high-functioning ASD individuals during some improvisation and communication activities that involve teamwork. Thus, we will be able to observe the effects of self-regulation strategies in the contexts that are usually more problematic for these users, whose difficulties are more subtle, as stated in Chapter 6. This experiment is going to be carried out at Drexel University, in Philadelphia (U.S.A.).
- **Adaptation:** although the design of the system is strongly oriented to elaboration of sequential self-regulation strategies support for individuals with ASD given their activities and context, experts pointed out that it might be suitable for other strategies related to education and daily-life tasks in the future, given that most of them are also based on sequences of instructions.
- **Modular version:** since there are plenty of applications for the assistance of people with intellectual disabilities (and more application for smartwatches are

expected to appear in the upcoming years) we propose as future work the design of a modular version of Taimun-watch that allows the addition of emotional self-regulation support to other applications that may lead the users to stress episodes in certain situations. Currently, Taimun-watch runs in the background until a stress episode arises, and then any application that had been running goes to background to start Taimun-Watch. A modular version would allow to embed the Taimun-Watch functionality within another assistance application, so that the affective component ends up integrated in the system, and self-regulation strategies become doable within other assistance systems. This work might require the development of a library that allows strategy visualization and connection to the authoring tool in order to obtain the strategies.

7.4. Publications

7.4.1. Publications on the Thesis subject

Indexed journals

- **Torrado, J. C.**, Gomez, J., & Montoro, G. (2017). Emotional self-regulation of individuals with autism spectrum disorders: Smartwatches for monitoring and interaction. *Sensors*, 17(6)
Impact factor: 2,677 (Q1/T1).
Accepted on: June 2017.

Conferences

- **Torrado, J. C.**, Montoro, G., & Gomez, J. (2016). The Potential of Smartwatches for Emotional Self-regulation of People with Autism Spectrum Disorder. In *HEALTHINF 2016 – 9th International Conference on Health Informatics*. (pp. 444-449).
Impact factor: Core C.
Accepted on: February 2016.
- **Torrado, J. C.**, Gomez, J., & Montoro, G. (2016). Including Affect as a Part of the Context in Assistive Technologies for Cognition. *Ambient Intelligence and Smart Environments, 21(Intelligent Environments 2016)*, 358-365.
Impact factor: Core C.
Accepted on: August 2016.
- Gomez, J.; **Torrado, J. C.**; Montoro, G. Using smartwatches for behavioral issues in ASD. In *Proceedings of the XVII International Conference on Human Computer Interaction - Interacción 2016*; 2016; pp. 1-2.
Accepted on: July 2016.

7.4.2. Publications on subjects related to the Thesis

Indexed journals

- **Torrado, J. C.**, Montoro, G., & Gómez, J. (2016). Easing the integration: A feasible indoor wayfinding system for cognitive impaired people. *Pervasive and*

Mobile Computing.

Impact factor: 2.349 (Q1/T1)

Fecha aceptación: February 2016.

- Gomez, J.; **Torrado, J. C.**; Montoro, G., ?Using Smartphones to Assist People with Down Syndrome in Their Labour Training and Integration: A Case Study; *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, Article ID 5062371, 15 pages, 2017.
Impact factor: 1,899 (Q2/T2).
Accepted on: December 2017.
- Gomez, J., Montoro, G., **Torrado, J. C.**, & Plaza, A. (2015). An Adapted Way-finding System for Pedestrians with Cognitive Disabilities. *Mobile Information Systems*, 2015.
Impact factor: 0,849 (Q4/T3).
Accepted on: September 2015.

Conferences

- **Torrado, J. C.**; Gomez, J.; Montoro, G. Experiencias de evaluación de herramientas tecnológicas para la asistencia de personas con discapacidad cognitiva. In *Proceedings of XVI Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador*; 2015; pp. 281-288.

Other journals

- Gómez, J.; Alamán, X.; Montoro, G.; **Torrado, J. C.**; Plaza, A. AmICog: mobile technologies to assist people with cognitive disabilities in the work place. *Adv. Distrib. Comput. Artif. Intell. Jornual* 2011, 2, 9-17
Accepted on: March 2014.



Bibliografía

- [1] M. d. S. Gabinete de prensa, “Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad - Gabinete de Prensa - Notas de Prensa,” vol. 8, no. Pabellón 3, 2015.
- [2] E. Bleuler, “Autistic thinking.,” in *Organization and pathology of thought: Selected sources.*, pp. 399–437, New York: Columbia University Press.
- [3] H. Asperger, “Die Autistischen Psychopathen im Kindesalter,” *Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, vol. 117, pp. 76–136, jun 1944.
- [4] L. KANNER, “Problems of Nosology and Psychodynamics of early infantile autism,” *American Journal of Orthopsychiatry*, vol. 19, no. 3, pp. 416–426, 1949.
- [5] O. I. Lovaas, “Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children.,” *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, vol. 55, no. 1, pp. 3–9, 1987.
- [6] P. Haya, G. Montoro, and X. Alamán, “A prototype of a context-based architecture for intelligent home environments,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 3290, pp. 477–491, 2004.
- [7] C. Mazefsky, J. Herrington, and M. Siegel, “The role of emotion regulation in autism spectrum disorder,” *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, vol. 52, no. 7, pp. 679–688, 2013.
- [8] M. Dawe, “Desperately Seeking Simplicity: How Young Adults with Cognitive Disabilities and Their Families Adopt Assistive Technologies,” *Proceedings of the ACM 2006 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1143–1152, 2006.

- [9] P. A. Haya, G. Montoro, and X. Alamán, “A Prototype of a Context-Based Architecture for Intelligent Home Environments,” pp. 477–491, Springer, Berlin, Heidelberg, oct 2004.
- [10] M. García-Herranz, P. Haya, A. Esquivel, G. Montoro, and X. Alamán, “Easing the Smart Home: Semi-automatic Adaptation in Perceptive Environments,” *Journal Of Universal Computer Science*, vol. 14, no. 9, pp. 1529–1544, 2008.
- [11] J. Gómez-Escribano, G. Montoro, and P. A. Haya, “iFaces - Adaptive User Interfaces for Ambient Intelligence,” *International Conference on Interfaces and Human Computer Interaction (IADIS’08)*, 2008.
- [12] G. Montoro, X. Alamán, and P. A. Haya, “A Plug and Play Spoken Dialogue Interface for Smart Environments,” pp. 360–370, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004.
- [13] J. Gomez, J. C. Torrado, and G. Montoro, “Using Smartphones to Assist People with Down Syndrome in Their Labour Training and Integration: A Case Study,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, pp. 1–15, dec 2017.
- [14] J. C. Torrado, G. Montoro, and J. Gómez, “Easing the integration: A feasible indoor wayfinding system for cognitive impaired people,” *Pervasive and Mobile Computing*, apr 2016.
- [15] J. Gomez and G. Montoro, “An Adapted Wayfinding System for Pedestrians with Cognitive Disabilities,” *Mobile Information Systems*, 2015.
- [16] C. McDougle, *Autism Spectrum Disorder*. Massachussets, USA: Oxford University Press, 2016.
- [17] A. P. Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. Washington D.C., U.S.A.: Amer Psychiatric Pub Incorporated, 2013.
- [18] S. Baron-cohen, A. M. Leslie, and U. T. a. Frith, “Do the autistic child have a theory of mind?,” *Cognitive Development*, vol. 21, pp. 37–46, 1985.
- [19] C. Lord and E. Cook, “Autism spectrum disorders,” in *Autism: The Science of Mental Health*, ch. 28(2), New York, U.S.A.: Routledge, 2013.
- [20] M. Lauritsen, “Autism spectrum disorders,” *European child & adolescent psychiatry*, vol. 22, no. 1, pp. 37–42, 2013.
- [21] C. Hughes, J. Russell, and T. Robbins, “Evidence for executive dysfunction in autism,” *Neuropsychologia*, vol. 32, no. 4, pp. 477–492, 1994.
- [22] E. Hill, “Evaluating the theory of executive dysfunction in autism,” *Developmental review*, vol. 8, no. 1, pp. 26–32, 2004.

- [23] J. Ashburner, J. Ziviani, and S. Rodger, "Sensory processing and classroom emotional, behavioral, and educational outcomes in children with autism spectrum disorder," *American Journal of Occupational Therapy*, vol. 62, pp. 564–573, 2008.
- [24] S. Berthoz and E. Hill, "The validity of using self-reports to assess emotion regulation abilities in adults with autism spectrum disorder," *European Psychiatry*, vol. 20, no. 3, pp. 291–298, 2005.
- [25] J. Ashburner, J. Ziviani, and S. Rodger, "Surviving in the mainstream: Capacity of children with autism spectrum disorders to perform academically and regulate their emotions and behavior at school," *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 4, no. 1, pp. 18–27, 2010.
- [26] J. De de las Carreras, "Derechos Humanos de las Personas con Discapacidad," *Los derechos de las personas con discapacidad (Análisis de las convenciones internacionales Y de la legislación vigente que los garantizan)*, p. 177, 2008.
- [27] M. A. Verdugo, "Autodeterminación y calidad de vida en salud mental: dos conceptos emergentes," *Salud Mental*, vol. 25, no. 4, pp. 68–77, 2002.
- [28] C. Pottie and K. Ingram, "Daily stress, coping, and well-being in parents of children with autism: a multilevel modeling approach.," *Journal of Family Psychology*, vol. 22, no. 6, pp. 855–864, 2008.
- [29] S. Myers and C. Johnson, "Management of children with autism spectrum disorders," *Pediatrics*, vol. 120, no. 5, 2007.
- [30] S. Odom and L. Collet-Klingenberg, "Evidence-based practices in interventions for children and youth with autism spectrum disorders," *Preventing School Failure: Alternative Education for Children and Youth*, vol. 54, no. 4, pp. 275–282, 2010.
- [31] T. Smith, "Discrete trial training in the treatment of autism," *Focus on autism and other developmental disabilities*, vol. 16, no. 2, pp. 86–92, 2001.
- [32] H. McConachie and T. Diggle, "Parent implemented early intervention for young children with autism spectrum disorder: A systematic review," *Journal of evaluation in clinical practice*, vol. 13, no. 1, pp. 120–129, 2007.
- [33] L. Sperry, "Peer-mediated instruction and intervention strategies for students with autism spectrum disorders," *Preventing School Failure: Alternative Education for Children and Youth*, vol. 54, no. 4, pp. 275–282, 2010.
- [34] R. Koegel and L. K. Koegel, *Pivotal Response Treatments for Autism: Communication, Social, and Academic Development*. USA: Brookes Publishing Company, 2006.

- [35] C. Gray and J. Garand, "Social stories: Improving responses of students with autism with accurate social information.," *Focus on Autistic Behavior*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 1993.
- [36] S. Bellini and J. Akullian, "A meta-analysis of video modeling and video self-modeling interventions for children and adolescents with autism spectrum disorders," *Exceptional children*, vol. 73, no. 3, pp. 264–287, 2007.
- [37] S. Lee, R. Simpson, and K. Shogren, "Effects and implications of self-management for students with autism a meta-analysis," *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, vol. 22, no. 1, pp. 2–13, 2007.
- [38] W. Machalicek and M. O'Reilly, "A review of interventions to reduce challenging behavior in school settings for students with autism spectrum disorders," *Research in Autism Developmental Disabilities*, vol. 1, no. 3, pp. 229–246, 2007.
- [39] B. Glasberg, "Functional behavior assessment for people with autism: Making sense of seemingly senseless behavior," *Education and Treatment of Children*, vol. 31, no. 3, pp. 433–435, 2006.
- [40] G. Green, "Behavior analytic instruction for learners with autism advances in stimulus control technology," *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 2001.
- [41] M. Cassella and T. Sidener, "Response interruption and redirection for vocal stereotypy in children with autism: A systematic replication," *Journal of applied behavior analysis*, vol. 44, no. 1, pp. 169–173, 2011.
- [42] E. Carr and V. Durand, "Reducing behavior problems through functional communication training," *Journal of applied behavior analysis*, vol. 18, no. 2, pp. 111–126, 1985.
- [43] A. Rincover and R. Cook, "Sensory extinction and sensory reinforcement principles for programming multiple adaptive behavior change," *Journal of applied behavior analysis*, vol. 12, no. 2, pp. 221–233, 1979.
- [44] D. Shabani and W. Fisher, "Stimulus fading and differential reinforcement for the treatment of needle phobia in a youth with autism," *Journal of applied behavior analysis*, vol. 39, no. 4, pp. 449–452, 2006.
- [45] L. Gitlin, "Why older people accept or reject assistive technology," *Generations*, vol. 19, no. 1, pp. 41–46, 1995.
- [46] R. Verza and M. Carvalho, "An interdisciplinary approach to evaluating the need for assistive technology reduces equipment abandonment," *Multiple Sclerosis Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 88–93, 2006.

- [47] W. Wilkowska, S. Gaul, and M. Ziefle, “A small but significant difference: the role of gender on acceptance of medical assistive technologies,” (Berlin, Germany), Springer, 2010.
- [48] P. Parette and M. Scherer, “Assistive technology use and stigma,” *Education and Training in Developmental Disabilities*, vol. 39, no. 3, pp. 217–226, 2004.
- [49] K. Shinohara and J. Wobbrock, “In the shadow of misperception: assistive technology use and social interactions,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (NY, USA), ACM New York, 2011.
- [50] A. Cook and J. Polgar, *Assistive technologies: Principles and practice*. Missouri, USA: Elsevier, 2014.
- [51] B. Phillips and H. Zhao, “Predictors of assistive technology abandonment,” *Assistive Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 36–45, 1993.
- [52] M. Scherer, “The change in emphasis from people to person: introduction to the special issue on Assistive Technology,” *Disability and rehabilitation*, vol. 24, no. 1-3, pp. 1–4, 2002.
- [53] M. Riemer-Reiss and R. Wacker, “Factors associated with assistive technology discontinuance among individuals with disabilities,” *Journal of Rehabilitation*, vol. 66, no. 3, pp. 44–50, 2000.
- [54] B. Sivberg, “Family System and Coping Behaviors A comparison between parents of children with autistic spectrum disorders and parents with non-autistic children,” *Autism*, vol. 6, no. 4, pp. 397–408, 2002.
- [55] D. Higgins, S. Bailey, and J. Pearce, “Factors associated with functioning style and coping strategies of families with a child with an autism spectrum disorder,” *Autism*, vol. 9, no. 2, pp. 125–137, 2005.
- [56] A. Schmidt, H. Gellersen, and C. Merz, “Enabling implicit human computer interaction: a wearable RFID-tag reader,” *Wearable Computers, The ...*, 2000.
- [57] G. Abowd, A. Dey, and P. Brown, “Towards a better understanding of context and context-awareness,” in *International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, (Karlsruhe, Germany), Springer Berlin Heidelberg, 1999.
- [58] D. Cook, J. Augusto, and V. Jakkula, “Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5, no. 4, pp. 277–298, 2009.
- [59] S. Li, L. D. Xu, and S. Zhao, “The internet of things: a survey,” *Information Systems Frontiers*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2015.

- [60] J. Gomez, G. Montoro, P. Haya, M. Garcia-Herranz, and X. Alaman, “Easing the integration and communication in ambient intelligence,” *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*, vol. 1, no. 3, pp. 53–65, 2009.
- [61] P. Huang, *Promoting wearable computing: A survey and future agenda*. Tokyo, Japan: Springer, 2000.
- [62] A. Gillespie, C. Best, and B. O’Neill, “Cognitive Function and Assistive Technology for Cognition: A Systematic Review,” *Journal of the International Neuropsychological Society*, vol. 18, no. 01, pp. 1–19, 2012.
- [63] R. Picard, *Affective computing*. 1997.
- [64] R. Picard, “Affective computing: from laughter to IEEE,” *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 1, no. 1, pp. 11–17, 2010.
- [65] C. Reynolds and R. Picard, “Affective sensors, privacy, and ethical contracts,” in *Extended abstracts of the 2004 conference on Human factors and computing systems - CHI ’04*, (New York, New York, USA), p. 1103, ACM Press, 2004.
- [66] R. Picard, E. Vyzas, and J. Healey, “Toward machine emotional intelligence: Analysis of affective physiological state,” *Pattern Analysis and Machine ...*, 2001.
- [67] J. Abascal and C. Nicolle, “Moving towards inclusive design guidelines for socially and ethically aware HCI,” *Interacting with Computers*, vol. 17, pp. 484–505, sep 2005.
- [68] R. Adolphs, “Recognizing Emotion from Facial Expressions: Psychological and Neurological Mechanisms,” *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, vol. 1, pp. 21–62, mar 2002.
- [69] J. A. Russell, “Is there universal recognition of emotion from facial expression? A review of the cross-cultural studies,” *Psychological Bulletin*, vol. 115, no. 1, pp. 102–141, 1994.
- [70] J. Fenn and H. LeHong, “Hype Cycle for Emerging Technologies, 2011,” Tech. Rep. July, 2011.
- [71] K. Oatley and P. Johnson-Laird, “Towards a cognitive theory of emotions,” *Cognition and emotion*, vol. 1, no. 1, pp. 29–50, 1987.
- [72] L. Barrett, “Discrete emotions or dimensions? The role of valence focus and arousal focus,” *Cognition & Emotion*, 1998.
- [73] N. Krupa, K. Anantharam, M. Sanker, S. Datta, and J. V. Sagar, “Recognition of emotions in autistic children using physiological signals,” *Health and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 137–147, 2016.

- [74] A. Pentland, “Healthwear: medical technology becomes wearable,” *Studies in health technology and informatics*, vol. 37, no. 5, pp. 42–49, 2005.
- [75] C. Kulikowski and C. Kulikowski, “Biomedical and health informatics in translational medicine,” *... of information in medicine*, vol. 48, no. 1, pp. 4–10, 2009.
- [76] P. Klasnja, S. Consolvo, and W. Pratt, “How to evaluate technologies for health behavior change in HCI research,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computer Systems*, (Vancouver, Canada), ACM New York: NY, USA, 2011.
- [77] L. Alpay, P. Toussaint, and B. Zwetsloot-Schonk, “Supporting healthcare communication enabled by information and communication technology: Can HCI and related cognitive aspects help?,” in *Proceedings on Dutch Directions in HCI*, (Amsterdam, The Netherlands), ACM New York: NY, USA, 2004.
- [78] T. Aungst and T. Lewis, “Potential uses of wearable technology in medicine: lessons learnt from Google Glass,” *International journal of clinical practice*, vol. 69, no. 10, pp. 1179–1183, 2015.
- [79] M. Patel, D. Asch, and K. Volpp, “Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change,” *Jama*, vol. 313, no. 5, pp. 459–460, 2015.
- [80] E. Kim, S. Helal, and D. Cook, “Human activity recognition and pattern discovery,” *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 9, no. 1, 2010.
- [81] S. Lee and K. Mase, “Activity and location recognition using wearable sensors,” *IEEE pervasive computing*, vol. 1, no. 3, pp. 24–32, 2002.
- [82] Y. Tian, T. Kanade, and J. Cohn, *Facial expression recognition*. London, UK: Springer London, 2011.
- [83] N. Dardas and N. Georganas, “Real-time hand gesture detection and recognition using bag-of-features and support vector machine techniques,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 11, pp. 3592–3607, 2011.
- [84] K. Verbrugge, I. Stevens, and L. D. Marez, “The role of an omnipresent pocket device: smartphone attendance and the role of user habits,” in *Crises, 'Creative Destruction' and the Global Power and Communication Orders*, (Dublin, Ireland), Ghent University: Ghent, Belgium, 2013.
- [85] K. Stawarz, A. Cox, and A. Blandford, “Beyond self-tracking and reminders: designing smartphone apps that support habit formation,” in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, (Seoul, Republic of Korea), p. Apr '15, ACM New York: NY, USA, 2015.
- [86] M. Shuzo, S. Komori, and T. Takashima, “Wearable eating habit sensing system using internal body sound,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 4, no. 1, pp. 158–166, 2009.

- [87] H. Witt and H. Kenn, "Towards implicit interaction by using wearable interaction device sensors for more than one task," in *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile technology, applications & systems*, (Bangkok, Thailand), ACM New York: NY, USA, 2006.
- [88] W. Kearns, J. M. Jasiewicz, J. L. Fozard, P. Webster, and S. Scott, "Temporo-spatial prompting for persons with cognitive impairment using smart wrist-worn interface," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 50, no. 10, p. VII, 2013.
- [89] V. Sharma, K. Mankodiya, F. De La Torre, A. Zhang, N. Ryan, T. G. N. Ton, R. Gandhi, and S. Jain, "SPARK: Personalized Parkinson Disease Interventions through Synergy between a Smartphone and a Smartwatch," *Design, User Experience, and Usability. User Experience Design for Everyday Life Applications and Services*, pp. 103–114, 2014.
- [90] D. Wile, R. Ranawaya, and Z. Kiss, "Smart watch accelerometry for analysis and diagnosis of tremor," *Journal of neuroscience methods*, vol. 230, no. 1, pp. 1–4, 2014.
- [91] D. Shin, D. Shin, and D. Shin, "Smart watch and monitoring system for dementia patients," in *International Conference on Grid and Pervasive Computing*, (Seoul, Republic of Korea), Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [92] M. Shoaib and S. Bosch, "Towards detection of bad habits by fusing smartphone and smartwatch sensors," in *Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)*, (St. Louis, USA), IEEE, 2015.
- [93] Z. Zhu, H. Satizabal, and U. Blanke, "Naturalistic Recognition of Activities and Mood Using Wearable Electronics," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 7, no. 3, pp. 272–285, 2015.
- [94] R. Xiao, G. Laput, and C. Harrison, "Expanding the Input Expressivity of Smartwatches with Mechanical Pan, Twist, Tilt and Click," *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14*, pp. 193–196, 2014.
- [95] C. Lisetti and F. Nasoz, "Using noninvasive wearable computers to recognize human emotions from physiological signals," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2004, no. 11, p. 929414, 2004.
- [96] O. Lara and M. Labrador, "A survey on human activity recognition using wearable sensors," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 15, no. 3, pp. 1192–1209, 2013.
- [97] G. Lancioni, J. Sigafoos, M. O'Reilly, and N. Singh, *Assistive technology: Interventions for individuals with severe/profound and multiple disabilities*. Springer Science & Business Media., 2012.

- [98] R. Rawassizadeh, B. a. Price, and M. Petre, “Wearables,” *Communications of the ACM*, vol. 58, no. 1, pp. 45–47, 2014.
- [99] L. H. Wu, L. C. Wu, and S. C. Chang, “Exploring consumers’ intention to accept smartwatch,” *Computers in Human Behavior*, vol. 64, pp. 383–392, 2016.
- [100] E. Frank Lopresti, A. Mihailidis, and N. Kirsch, “Assistive technology for cognitive rehabilitation: State of the art,” *Neuropsychological Rehabilitation*, vol. 14, pp. 5–39, mar 2004.
- [101] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, and M. Rodgers, “A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation,” apr 2012.
- [102] A. Amiri, N. Peltier, C. Goldberg, Y. Sun, A. Nathan, S. Hiremath, and K. Mankodiya, “WearSense: Detecting Autism Stereotypic Behaviors through Smartwatches,” *Healthcare*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2017.
- [103] V. Dibia, S. Trewin, M. Ashoori, and T. Erickson, “Exploring the Potential of Wearables to Support Employment for People with Mild Cognitive Impairment,” in *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, (Lisbon, Portugal), ACM New York: NY, USA, 2015.
- [104] H. Zheng and V. G. Motti, “WeLi,” in *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '17*, (New York, New York, USA), pp. 355–356, ACM Press, 2017.
- [105] L. M. Kuypers, “The Zones of Regulation,” *Special Interest Section Quarterly*, vol. 36, no. 4, pp. 1–5, 2013.
- [106] R. Raya, J. O. Roa, E. Rocon, R. Ceres, and J. L. Pons, “Wearable inertial mouse for children with physical and cognitive impairments,” in *Sensors and Actuators, A: Physical*, vol. 162, pp. 248–259, Elsevier, aug 2010.
- [107] J. A. Naslund, K. A. Aschbrenner, and S. J. Bartels, “Wearable devices and smartphones for activity tracking among people with serious mental illness,” *Mental Health and Physical Activity*, vol. 10, pp. 10–17, 2016.
- [108] G. R. Hayes, “Using Wearables to Augment Social Interactions and Teach Social Skills for Adults with Autism,” *Google Faculty Research Award*, 2015.
- [109] K. Ha, Z. Chen, W. Hu, W. Richter, P. Pillai, and M. Satyanarayanan, “Towards wearable cognitive assistance,” in *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile systems, applications, and services - MobiSys '14*, (New York, New York, USA), pp. 68–81, ACM Press, 2014.
- [110] G. Marcu, A. K. Dey, and S. Kiesler, “Parent-driven use of wearable cameras for autism support,” *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing - UbiComp '12*, p. 401, 2012.

- [111] J. Mintz, “Can smartphones support inclusion for autism in mainstream?,” *Journal of Assistive Technologies*, vol. 7, no. 4, pp. 235–242, 2013.
- [112] Z. S. S. De Urturi, A. M. M. Zorrilla, and B. G. B. G. Zapirain, “Serious Game based on first aid education for individuals with Autism Spectrum Disorder (ASD) using android mobile devices,” *Proceedings of CGAMES’2011 USA - 16th International Conference on Computer Games: AI, Animation, Mobile, Interactive Multimedia, Educational and Serious Games*, pp. 223–227, 2011.
- [113] L. Escobedo, D. H. Nguyen, L. Boyd, S. Hirano, A. Rangel, D. Garcia-Rosas, M. Tentori, and G. Hayes, “MOSOCO,” in *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems - CHI ’12*, p. 2589, 2012.
- [114] F. A. Boujarwah, M. O. Riedl, G. D. Abowd, and R. I. Arriaga, “REACT: intelligent authoring of social skills instructional modules for adolescents with high-functioning Autism,” *SIGACCESS Access. Comput.*, no. 99, pp. 13–23, 2011.
- [115] A. Constantin, H. Pain, and A. Waller, “Informing the Design of an Authoring Tool for Developing Social Stories,” in *Human-Computer Interaction - INTER-ACT 2013 SE - 38*, vol. 8118, pp. 546–553, 2013.
- [116] S. Bernardini, K. Porayska-Pomsta, and T. J. Smith, “ECHOES: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism,” *Information Sciences*, vol. 264, pp. 41–60, 2014.
- [117] M. Lucrecia, S. Cecilia, P. Patricia, and B. Sandra, “AuthorAR: Authoring tool for building educational activities based on Augmented Reality,” in *Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013 International Conference on*, pp. 503–507, 2013.
- [118] A. Sano, J. Hernandez, J. Deprey, M. Eckhardt, M. S. Goodwin, and R. W. Picard, “Multimodal annotation tool for challenging behaviors in people with Autism spectrum disorders,” in *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing - UbiComp ’12*, (New York, New York, USA), p. 737, ACM Press, sep 2012.
- [119] R. El Kaliouby, R. Picard, and S. Baron-Cohen, “Affective computing and autism,” *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1093, pp. 228–248, 2006.
- [120] D. Quintana, A. Guastella, T. Outhred, and I. Hickie, “Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition,” *International Journal of*, 2012.
- [121] R. Cowie, E. Douglas-Cowie, N. Tsapatsoulis, G. Votsis, S. Kollias, W. Fellenz, and J. G. Taylor, “Emotion recognition in human-computer interaction,” *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 18, no. 1, pp. 32–80, 2001.

- [122] A. Sano and R. Picard, “Stress recognition using wearable sensors and mobile phones,” *Affective Computing and Intelligent ...*, 2013.
- [123] S. Saeb, M. Zhang, C. J. Karr, S. M. Schueller, M. E. Corden, K. P. Kording, and D. C. Mohr, “Mobile phone sensor correlates of depressive symptom severity in daily-life behavior: An exploratory study,” *Journal of Medical Internet Research*, vol. 17, no. 7, 2015.
- [124] D. J. McDuff, J. Hernandez, S. Gontarek, and R. W. Picard, “COGCAM: Contact-free Measurement of Cognitive Stress During Computer Tasks with a Digital Camera,” *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 4000–4004, 2016.
- [125] M. A. Williams, A. Roseway, C. O’Dowd, M. Czerwinski, and M. R. Morris, “SWARM,” in *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI ’14*, (New York, New York, USA), pp. 293–300, ACM Press, 2015.
- [126] A. Samson, O. Huber, and J. Gross, “Emotion regulation in Asperger’s syndrome and high-functioning autism.,” *Emotion*, 2012.
- [127] K. A. Loveland, “Social-emotional impairment and self-regulation in autism spectrum disorders,” *Emotional development*, pp. 365–382, 2005.
- [128] G. Mahoney and F. Perales, “Using Relationship-Focused Intervention to Enhance the Social Emotional Functioning of Young Children with Autism Spectrum Disorders,” *Topics in Early Childhood Special Education*, vol. 23, no. 2, pp. 74–86, 2003.
- [129] A. C. Gulsrud, L. B. Jahromi, and C. Kasari, “The Co-regulation of emotions between mothers and their children with autism,” *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 40, no. 2, pp. 227–237, 2010.
- [130] Y. Heisler, “How many Apple Watches has Apple sold so far?.”
- [131] J. Leslie, “Wearable tech sales explored: Just how many devices have been sold?,” 2016.
- [132] C. A. Mazefsky, J. Herrington, M. Siegel, A. Scarpa, B. B. Maddox, L. Scahill, and S. W. White, “The role of emotion regulation in autism spectrum disorder.,” *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, vol. 52, pp. 679–88, jul 2013.
- [133] J. Ramos, J. Hong, and A. Dey, “Stress recognition: a step outside the lab,” *PhyCS*, vol. 1, no. 1, pp. 107–118, 2014.
- [134] K. Kim, S. Bang, and S. Kim, “Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals,” *Medical and biological engineering and computing*, vol. 42, no. 3, pp. 419–427, 2004.

- [135] D. Miranda, M. Calderón, and J. Favela, “Anxiety detection using wearable monitoring,” in *Proceedings of the 5th Mexican Conference on Human-Computer Interaction - MexIHC '14*, (New York, New York, USA), pp. 34–41, ACM Press, nov 2014.
- [136] J. Healey and R. Picard, “Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors,” *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, 2005.
- [137] I. Obrusnikova and A. R. Cavalier, “Perceived Barriers and Facilitators of Participation in After-School Physical Activity by Children with Autism Spectrum Disorders,” *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, vol. 23, no. 3, pp. 195–211, 2011.
- [138] I. Obrusnikova and D. L. Miccinello, “Parent perceptions of factors influencing after-school physical activity of children with autism spectrum disorders,” *Adapted Physical Activity Quarterly*, vol. 29, no. 1, pp. 63–80, 2012.
- [139] C.-Y. Pan and G. C. Frey, “Physical Activity Patterns in Youth with Autism Spectrum Disorders,” *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 36, no. 5, pp. 597–606, 2006.
- [140] J. Sauro, “Measuring Usability With The System Usability Scale (SUS),” *Measuring Usability*, pp. 1–5, 2011.